BRIEFE AN EINE DEUTSCHE PRINZESSIN ÜBER VERSCHIEDENE...

Leonhard Euler, Johann Heinrich Jacob Müller



Leonhard Euler's
Briefe an eine deutsche Prinzessin
über verschiedene Gegenstände
der
Physik und Philosophie.

Auf's Neue nach dem Französischen bearbeitet.

Mit einem Supplemente,
die neuesten Ergebnisse und Bereicherungen der Physik in Briefform behandelnd,

von

Dr. Joh. Müller,
Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

In drei Theilen.

Dritter oder ergänzender Theil.

Stuttgart.
J. B. Müller's Verlagsbuchhandlung.

1848.

Gedruckt bei Blum und Vogel in Stuttgart.

Dritter Theil.

Erster Brief.

Durch die Lectüre der Euler'schen Briefe haben Sie das Studium der Physik liebgewonnen. — In der That hat Euler durch seine Briefe an eine deutsche Prinzessin den Dank aller Gebildeten verdient, denen er den Weg zur Einsicht in eine der erhabensten und zugleich tief in's practische Leben eingreifenden Wissenschaft anbahnte, weil er durch Verbreitung gründlicher naturwissenschaftlicher Kenntnisse eine gediegene Bildung beförderte. Betrachten wir die Zeit, in welcher Euler schrieb, so müssen wir Euler's Verdienst nur um so höher schätzen; er lebte in einer Zeit, in welcher nicht allein die Wissenschaft selbst noch vielfach von pedantischen Formen umgeben, sondern auch die Resultate derselben lediglich dem Gelehrten von Fach zugänglich waren, in welcher Niemand daran dachte, die Grundzüge der Naturwissenschaften zum geistigen Eigenthum aller Gebildeten zu machen. Euler, der größste Mathematiker und Physiker seiner Zeit, verschmähte es nicht, die Elemente der Physik in wunderbar klarer Darstellung dem Laien zugänglich zu machen, während er auf der andern Seite durch die tiefsten Forschungen zur Weiterbildung der Wissenschaft mehr beitrug als wohl irgend einer seiner Zeitgenossen. Leider fand Euler's Beispiel nicht die Nachahmung, wie man es hätte wünschen sollen. Selbst bis in die neueste Zeit haben nur wenige namhafte Gelehrte sich in populärer Darstellung versucht, die zahllosen Schriften aber, welche dem wohlgefühlten Bedürfnisse abhelfen sollten, und welche durch den Namen der „populären" Schriften eingeführt wurden, sind meistens von Leuten geschrieben, welche einer solchen Aufgabe nicht gewachsen waren, welche selbst nicht die nöthige Kenntniß des Gegenstandes hatten, welchen sie vortragen wollten, und welche nur oberflächliche Darstellungen statt

der so sehr zu wünschenden populären oder volksthümlichen gaben. Durch solche Schriften ist leider das Wort populär in Mißkredit gerathen, eine populäre Schrift ist Vielen gleichbedeutend mit oberflächlich.

Doch gibt es rühmliche Ausnahmen; Littrow und Liebig z. B. haben nicht allein zur Entwickelung der Wissenschaft gewirkt, sie haben auch zur Verbreitung derselben das Ihrige redlich beigetragen.

Eine populäre Darstellung naturwissenschaftlicher Gegenstände ist in der That keine so leichte Aufgabe; sie fordert eine vollkommene Bekanntschaft mit dem ganzen zu behandelnden Gebiete; denn ohne eine solche ist es nicht möglich, aus der ungeheuren Masse des Materials gerade das Wichtigste, das Characteristischste auszuwählen. Ein Führer muß seine Gegend sehr wohl kennen, um den Fremden auf den kürzesten, am wenigsten mühevollen Wegen auf die Höhen zu geleiten, von welchen herab er einen Ueberblick der Landschaft hat, von welchen aus er sich zu orientiren im Stande ist. — Bei vollkommener Kenntniß des Gegenstandes hat aber auch noch die Form der populären Darstellung ihre eigenthümlichen Schwierigkeiten, denn es handelt sich ja gerade darum, die Grundzüge der Wissenschaft nicht in der ihr eigenthümlichen Ausdrucksweise, sondern in der Sprache des gewöhnlichen Lebens darzustellen, und die wissenschaftliche Ausdrucksweise erst zugänglich zu machen.

Wenn ich dieß bedenke, so kann ich kaum hoffen, Ihrem Wunsche zu genügen, „in brieflichen Mittheilungen Sie mit den wichtigsten physikalischen Thatsachen und Gesetzen bekannt zu machen, welche seit Euler entdeckt und nachgewiesen wurden.“ Die Aufgabe hat doppelte Schwierigkeiten, einmal sind seit Euler ungeheure Fortschritte in der Physik gemacht worden, dann aber scheint mir gerade der Umstand mißlich, daß meine Briefe gleichsam ein Supplement zu den Euler'schen bilden, deren wahrhaft klassische Klarheit ich auch nicht entfernt erreichen zu können hoffen darf.

Wollte ich jedoch den letzteren Grund geltend machen und deßhalb auf Ihre Bitte nicht eingehen, so könnte man mir nicht ganz mit Unrecht einigen Egoismus vorwerfen. Wenn ich durch eine Fortsetzung der Euler'schen Briefe hoffen kann, auch ein Weniges zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse beizutragen, so muß schon dieser Grund bestimmend seyn, mag ich auch bei einer Vergleichung meiner Arbeit mit der Euler'schen noch so

weit zurückstehen, und deßhalb stehe ich auch nicht an, die Fortsetzung der Euler'schen Briefe zu übernehmen, nur muß ich Ihre Nachsicht in Anspruch nehmen und namentlich bitten, nicht die Euler'schen Briefe als Maaßstab bei der Beurtheilung der meinigen anzulegen.

Derjenige Gegenstand, mit welchem ich Sie zunächst zu unterhalten gedenke, ist die Wärmelehre, die zu Euler's Zeit noch sehr wenig cultivirt wurde. Die Lehre von der Wärme ist in neuerer Zeit durch zahlreiche Thatsachen und Gesetze erweitert worden, die auch für das practische Leben von der höchsten Bedeutung geworden sind. Welche Rolle spielt z. B. in unsern Tagen die Dampfmaschine? Wie viel hat nicht die genauere Kenntniß der Wärmelehre zur richtigeren Erkenntniß der meteorologischen Erscheinungen beigetragen? Um jedoch solch interessante Gegenstände besprechen zu können, muß ich so ziemlich bis zu den ersten Grundsätzen der Wärmelehre zurückgehen, vor allen Dingen aber muß ich Ihnen über die Einrichtung des Thermometers noch einige Erläuterungen geben, welche den Gegenstand meines nächsten Briefes ausmachen werden.

Zweiter Brief.

Vom Thermometer.

Für die Wärmelehre ist ohne Zweifel der Thermometer das wichtigste aller Instrumente. An die Erfindung und Vervollkommnung des Thermometers sind mehr oder weniger alle Fortschritte der Wärmelehre geknüpft, es ist deßhalb nöthig, dieses Instrument etwas näher zu betrachten.

Es dürfte wohl nicht leicht ein physikalischer Apparat so verbreitet seyn, wie der Thermometer, deßhalb ist auch seine Einrichtung im Allgemeinen bekannt; Jedermann weiß, daß das Thermometer aus einer Glaskugel besteht, welche am Ende einer engen Glasröhre angeblasen ist, daß diese Kugel und ein Theil der Röhre mit Quecksilber oder Weingeist gefüllt ist, und daß die Flüssigkeitssäule in der Röhre steigt, wenn die Kugel erwärmt, daß sie sinkt, wenn die Kugel erkaltet wird; daß jeder bestimmten Stellung des Gipfels der Flüssigkeitssäule auch ein bestimmter Erwärmungsgrad der Kugel entspricht. Jedermann spricht auch von Thermometergraden und verbindet damit eine bald mehr, bald

weniger richtige Vorstellung. Da es nun zum Verständniß der Wärmelehre unumgänglich nöthig ist, daß man ganz genau wisse, was man unter jenen Graden zu verstehen habe, so bin ich so frei, Ihnen die Einrichtung der Thermoteterscala näher auseinander zu setzen, auf die Gefahr hin, Manches vorzubringen, was Ihnen vielleicht theilweise schon bekannt ist.

Taucht man die Thermometerkugel in schmelzenden Schnee, so wird sich der Gipfel der Quecksilbersäule bald an einem bestimmten Punkte der Thermometerröhre feststellen. Dieser Punkt wird markirt; es ist der Gefrierpunkt, oder der Eispunkt.

Nun wird die Thermometerkugel in siedendes Wasser getaucht. Der Gipfel der Quecksilbersäule wird rasch steigen, bald aber an einer Stelle der Röhre stehen bleiben, welcher abermals markirt wird, und welche der Siedpunkt heißt.

Diese beiden Punkte sind die Normalpunkte des Thermometers, ihr Abstand führt den Namen des Normalabstandes. Dieser Normalabstand wird nun auf verschiedene Weise abgetheilt; die bei uns gebräuchlichste Skala ist die Reaumür'sche, bei welcher die Entfernung des Gefrierpunkts vom Siedpunkt in 80 gleiche Theile getheilt ist. Der Eispunkt ist mit 0, der Siedpunkt ist mit 80 bezeichnet. Die Theilung ist in gleicher Weise über den Siedpunkt und unter dem Nullpunkt fortgesetzt. Die unter dem Gefrierpunkt liegende Grade sind als negative (— minus) bezeichnet.

Die Celsius'sche Scala hat mit der Reaumür'schen den Nullpunkt gemein, der Normalabstand ist aber in 100 gleiche Theile getheilt, mithin ist auch der Siedpunkt des Wassers mit 100 bezeichnet.

Die Celsius'sche Scala ist zu wissenschaftlichen Untersuchungen fast ausschließlich im Gebrauch, ich werde mich deßhalb auch derselben in meinen folgenden Briefen bedienen; wo nicht ausdrücklich das Gegentheil gesagt ist, sind unter den Thermometergraden stets die Grade des 100theiligen Thermometers gemeint.

Die Scala des in England gebräuchlichen Thermometers hat nicht den Gefrierpunkt des Wassers zum Nullpunkt, sondern einen Punkt, bis zu welchem der Thermometer sinkt, wenn man ihn in eine künstliche Kältemischung von Schnee und Kochsalz taucht. Die Temperatur dieser Mischung ist $17^7/_9$ Celsius'sche Grade unter dem Gefrierpunkt des Wassers. Der Zwischenraum zwischen diesen Punkten und dem Siedpunkt des Wassers bei'm

Fahrenheit'schen Thermometer ist in 212 gleiche Theile getheilt, der Nullpunkt unsers Thermometers ist auf der Fahrenheit'schen Scala mit 32 bezeichnet. Die folgende Tabelle mag dazu dienen, Ihnen die Vergleichung der verschiedenen Thermometrescalen zu erleichtern.

Celsius.	Reaumur.	Fahrenheit.
— 20	— 16	— 4
— 10	— 8	+ 14
0	0	32
+ 10	+ 8	50
20	16	68
30	24	86
40	32	104
50	40	122
60	48	140
70	56	158
80	64	176
90	72	194
100	80	212

Die gewöhnlichen Thermometer gehen nicht weit über den Siedpunkt des Wassers hinaus, zu speciellen Zwecken hat man aber Quecksilberthermometer konstruirt, welche bis 360 ° gehen; für große Kältegrade kann man jedoch die Quecksilberthermometer nicht gebrauchen, weil das Quecksilber schon bei — 40 ° C gefriert. Für solche Fälle wendet man Weingeist als thermometrische Flüssigkeit an, der dagegen für höhere Temperaturen unbrauchbar ist, weil er sich in der Nähe seines Siedpunktes (78 ° C) unregelmäßig ausdehnt.

Warum aber, werden Sie vielleicht fragen, wendet man nicht die verbreitetste aller Flüssigkeiten, das Wasser, als thermometrische Flüssigkeit an? Zunächst offenbar, weil sein Gefrierpunkt gar zu hoch liegt, weil das Wasser in der Thermometerkugel schon bei der geringsten Kälte frieren, die Kugel zersprengen und das Instrument unbrauchbar machen würde. Freilich kann das Wasser in einer Thermometerkugel oft weit unter dem Gefrierpunkt erkaltet werden, wenn sie ganz ruhig hängt, wovon ich wohl später noch einmal reden werde, und dadurch wird die Gefahr des Zer-

springens der Kugel wohl etwas vermindert; ein anderer Umstand aber macht das Wasser für Thermometer absolut unbrauchbar.

Das Wasser dehnt sich nämlich in der Nähe seines Gefrierpunktes ganz unregelmäßig aus. Bei 4 ° ist es dichter als bei jeder andern Temperatur, Wasser von 4 ° dehnt sich aus, man mag es erwärmen oder erkalten. Man kann sich von dieser Behauptung leicht mit Hülfe eines Wasserthermometers überzeugen. Lassen Sie sich einen Wasserthermometer ganz in der Weise anfertigen, wie einen Quecksilberthermometer (eine Scala, ja die Bestimmung der Normalpunkte ist unnöthig), nur muß die Kugel möglichst groß seyn, sie muß etwa 1 Zoll im Durchmesser haben. Stellt man dieß Instrument nur mit einem gewöhnlichen Thermometer in ein Zimmer, dessen Temperatur etwa 0 ° ist, so wird sich der Gipfel der Wassersäule an einen bestimmten Punkt der Röhre feststellen. Bringt man nun beide Instrumente in ein warmes Zimmer, so wird das Quecksilberthermometer steigen, das Wasserthermometer aber wird sinken, weil sich das Wasser von 0 ° bei seiner Erwärmung zusammenzieht. Dieses Zusammenziehen dauert jedoch nur, bis das Wasser eine Temperatur von 4 ° erreicht hat; für diese Temperatur ungefähr erreicht der Wasserthermometer seine tiefste Stellung und steigt dann fortwährend mit wachsender Wärme, jedoch nicht gleichmäßig mit dem Quecksilber; d. h. während das Quecksilber von etwa 5 ° auf 6 ° steigt, steigt das Wasserthermometer nur sehr wenig, es steigt aber sehr bedeutend für gleiche Temperaturerhöhung bei höheren Graden, es steigt also z. B. bedeutend, während der Quecksilber-Thermometer von 50 auf 51 ° steigt.

Diese Unregelmäßigkeiten machen das Wasser zur Construktion von Thermometern unbrauchbar.

Dritter Brief.

Von der Ausdehnung der Luft und der Entstehung der Winde.

Die Lehre von der Wärme war, wie ich schon bemerkte, zu Euler's Zeit noch wenig ausgebildet, ich habe deßhalb auf diesem Felde nicht allein Manches nachzutragen, sondern auch Einiges zu berichtigen. In seinem fünfzehnten Briefe spricht Euler von zwei Zimmern, welche durch eine Thüre mit einander verbunden sind, und sagt, daß wenn die Luft in dem einen erwärmt würde, sie sich

ausdehne und theilweise in das andere übergehe und die Luft dort etwas comprimire, bis in beiden Räumen wieder gleiche Elasticität herrsche. So einfach ist aber hier der Vorgang durchaus nicht; es würde dieß wohl nur dann der Fall seyn können, wenn beide Zimmer nur durch eine kleine Oeffnung verbunden wären. Alsdann würde die warme Luft durch diese Oeffnung aus dem wärmeren Zimmer in das kältere dringen.

Sobald aber die Thüre die Oeffnung ist, welche die beiden Zimmer verbindet, ist die Sache nicht mehr so einfach. Die wärmere Luft ist, wie Sie wissen, unter sonst gleichen Umständen leichter als die kalte, in einem geheizten Zimmer wird also die wärmere Luft an die Decke steigen, die kältere sich auf dem Boden lagern. Man kann sich von dieser Behauptung leicht mittels eines Thermometers überzeugen. Am Boden des Zimmers wird er niedriger stehen als an der Decke.

Die Folge davon ist nun, daß die warme Luft oben ausströmt, während unten die kalte Luft in das geheizte Zimmer eindringt. Man kann sich von diesen entgegengesetzten Richtungen und Luftströmungen leicht überzeugen, wenn man die Thüre des geheizten Zimmers etwa nur zwei Fingerbreit öffnet und eine brennende Kerze in die Spalte hält. Am obern Ende der Thüre wird die Flamme nach Außen hingeweht, ungefähr in der Mitte der Thürhöhe brennt die Flamme ganz ruhig, sie zeigt keinerlei Luftbewegung an, unten aber wird sie durch den nach dem Zimmer hin gerichteten Luftstrom nach Innen geblasen.

Dieser einfache Versuch zeigt uns also, daß wenn an irgend einem Orte eine stärkere Erwärmung stattfindet, alsdann die erwärmte Luft aufsteigt und Oben abfließt, während umgekehrt am Boden die kältere Luft den stärker erwärmten Orten zuströmt.

Was wir hier im Kleinen beobachten, zeigen uns die Windströmungen, namentlich in den Tropen und den sie begränzenden Regionen in großem Maaßstab. Von beiden Seiten strömt auf der Erdoberfläche die Luft von den kälteren Gegenden dem Aequator zu, wo die stärste Erwärmung stattfindet, in den Aequatorialgegenden steigt die erwärmte Luft auf, um dann auf beiden Seiten wieder nach den Polen hinabzufließen.

Die eben erwähnten Windströmungen sind unter dem Namen die Passatwinde bekannt. Auf dem atlantischen sowohl, wie auf dem großen Ocean herrscht ungefähr vom nördlichen Wendekreise (dem Wendekreis des Krebses) an eine Jahr aus Jahr ein

fortdauernde nordöstliche Windströmung gegen den Aequator hin; es ist dieß der Nordostpassat. Eine ähnliche südöstliche Strömung, der Südostpassat, findet sich auf der südlichen Hemisphäre; je mehr diese beiden Luftströmungen sich einander nähern, desto mehr wird ihre Richtung östlich. Da, wo beide zusammenstoßen, combiniren sie sich zu einer rein östlichen Strömung, die aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung größtentheils durch das mächtige Aufsteigen der Luft neutralisirt wird, welches die Folge der starken Erwärmung durch die Sonnenstrahlen ist.

Wenn die Erde keine Rotationsbewegung um ihre Axe hätte, so würde der Passatwind auf der einen Seite eine rein nördliche, auf der anderen eine rein südliche seyn.

Durch die ungleichförmige Erwärmung des Landes erleidet die Regelmäßigkeit des Passatwindes in der Nähe großer Continente eine Störung, namentlich verhindert der asiatische Continent mit seinen mächtigen Gebirgen die Bildung des Nordostpassats im indischen Ocean. Hier herrschen die Moussons, d. h. Winde, welche ein halbes Jahr lang in nordöstlicher, ein halbes Jahr lang in südwestlicher Richtung wehen.

Da, wo die beiden Passatströme zusammenstoßen, findet, wie bemerkt, ein starkes Aufsteigen der erwärmten Luft statt; hier finden keine regelmäßigen Luftströmungen mehr statt, der östliche Luftstrom ist durch das starke Aufsteigen unmerklich gemacht. Dieser Gürtel nun, welche die Passatzonen der beiden Hemisphären trennt, heißt die Region der Calmen. Es würde in diesen Gegenden eine fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die fast täglich unter Donner und Blitz stattfindenden Regengüsse begleiten, die Ruhe der Atmosphäre störten und das Wehen sanfter regelmäßiger Winde unmöglich machten.

In der Region der Calmen findet ein mächtiges Aufströmen der erwärmten Luft statt, welche in den höheren Regionen zu beiden Seiten hin abströmt und in einer dem untern Passat entgegengesetzten Richtung sich gegen die Pole hinbewegt.

Daß ein solcher rückkehrender Passat der oberen Regionen vorhanden seyn müsse, ist klar, denn da der untere Passat beständig Luft nach der Aequatorialgegend hinführt, so muß doch diese Luft auch auf irgend einem andern Weg zurückkehren; in den untern Luftregionen findet ein solches Zurückströmen nicht statt, es muß also nothwendig in den höheren Regionen vor sich gehen, wie dieß auch ganz analog mit dem Versuch an der Stubenthür ist. Freilich

ist der auf der nördlichen Halbkugel zurückkehrende Südwest- und der auf der südlichen wehende Nordwestpassat in solcher Höhe, daß er nicht beobachtet werden kann; doch sprechen auch Thatsachen für seine Existenz. Bei dem Ausbruche eines mexikanischen Vulkans fiel die Asche theilweise an Orten nieder, welche weit nordöstlich von dem Vulkan liegen, während in der ganzen Gegend ein Nordostpassat herrschte. Die Asche muß also durch den Vulkan in eine solche Höhe geschleudert worden seyn, daß sie über den untern Nordostpassat hinaus in den Strom des rückkehrenden Südwestpassates kam und durch diesen weit fortgeführt wurden.

Mit zunehmender Entfernung vom Aequator senkt sich der rückkehrende Passat allmählig gegen die Erdoberfläche, was daraus hervorgeht, daß auf dem Gipfel des Piks von Teneriffa öfters ein Südwestwind weht, während am Fuße desselben ein beständiger Nordostpassat herrscht.

Wenn der rückkehrende Passat sich noch weiter senkt, so gehen die beiden Luftströmungen nicht mehr über-, sondern neben einander her, indem sie sich an einem und demselben Orte abwechselnd verdrängen, wie man dieß in höheren Breiten, z. B. in unsern Gegenden wahrnimmt, wo abwechselnd Südwest oder Nordost herrscht, die übrigen Winde wehen selten und in der Regel nur als Uebergang von einem der herrschenden Winde zum andern.

Aus dem, was ich Ihnen so eben mitgetheilt, geht hervor, daß Euler's Meinung, als herrsche in den höheren Luftregionen vollkommene Ruhe, nicht ganz richtig ist; freilich kann der Wind oben nicht so heftig seyn wie unten, weil die Luft hoch über der Erdoberfläche sehr verdünnt ist; wenn überhaupt in den höchsten Regionen eine beständige Windstille herrscht, so muß dieß noch über der Region des rückkehrenden Passates seyn, welcher in den Tropen selbst schon hoch über den Gipfel der höchsten Berge wegweht. Dadurch widerlegt sich auch die Meinung, als ob auf den Gipfeln sehr hoher Berge aller Zonen gleiche Temperatur herrsche, was ohne nähere Prüfung dadurch einige Wahrscheinlichkeit zu haben scheint, weil jene Gipfel selbst unter dem Aequator mit ewigem Schnee bedeckt sind.

Was die Höhe der Schneegränze anbelangt, so liegt sie begreiflicherweise um so tiefer, jemehr man sich den Polen nähert; die mittlere Temperatur der Schneegränze ist jedoch nicht in allen Breiten dieselbe, wie man früher glaubte.

Weil nämlich die Temperatur des schmelzenden Schnees 0° ist, so meinte man, die mittlere Temperatur an der Schneegränze

müßte auch 0 ° seyn. So wäre es auch, wenn die Temperatur im Laufe des Jahres sich nur unbedeutend änderte, wie dieß in den Tropen wirklich der Fall ist, wo Jahr aus Jahr ein fast dieselbe Wärme herrscht; in den Tropen ist deßhalb auch die mittlere der Schneegränze wirklich nahe gleich Null. In höheren Breiten ist jedoch die Sommer- und Wintertemperatur sehr verschieden; die Differenz kann weit über 40 Grade betragen. An einer Stelle also, deren mittlere Temperatur 0 ° ist, kann die Wintertemperatur auf — 20 ° fallen, die Sommertemperatur auf + 20 ° steigen. Bei einer solchen Temperatur schmilzt aber der Schnee weg. Die Schneegränze hängt ja begreiflicherweise nicht von der mittleren Temperatur, sondern von der Temperatur der wärmeren Monate ab. Auf den schneebedeckten Bergen höherer Breiten sind allerdings noch die Verschiedenheiten der Jahreszeiten merklich, wenn auch nicht so stark wie im Thale, die mittlere Temperatur ist aber hier in der Region des ewigen Schnees viel niedriger als in den Tropen, wo sie nicht viel von 0 ° verschieden ist.

Vierter Brief.

Gesetze der Ausdehnung der Luft; Spannkraft der Luft.

Die Gesetze der Ausdehnung der Luft sind seit Euler genauer untersucht worden; man hat gefunden, daß die Luft vom Gefrierpunkt bis zum Siedpunkt des Wassers, also von 0° bis auf 100° (Celsius) erwärmt, sich um $^{365}/_{1000}$ ihres Volumens ausdehnt, so also, daß eine Luftmasse, welche bei 0° gerade einen Raum von 1000 Kubikzoll einnimmt, bei einer Temperatur von 100 Grad bei unverändertem Druck einen Raum von 1365 Kubikzoll erfüllt. Es läßt sich dieß am einfachsten auf folgende Art darthun. An ein etwa Strohhalm-dickes Röhrchen (Fig. 1.), welches auf der einen Seite in ein feines Spitzchen ausgezogen ist, sey auf der andern Seite eine Kugel a angeblasen. Wenn die Luft in der Kugel erwärmt wird, so nimmt ihre Elasticität zu, sie dehnt sich aus und ein Theil derselben tritt durch das feine Spitzchen aus. Hält man die Kugel in kochendes Wasser, so wird auch die in ihr enthaltene Luft allmählig bis zur Temperatur des Siedpunktes erwärmt werden; sobald sie vollständig diesen Erwärmungsgrad erreicht hat, tritt ein Gleichgewichtszustand ein; die innere warme Luft setzt sich gegen die äußere in's Gleichgewicht,

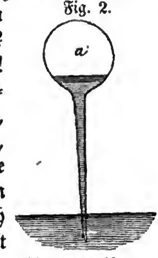
Fig. 1.
a

sobald dieß geschehen ist, findet weder ein Ausströmen der Luft aus der Kugel, noch ein Einströmen in dieselbe statt.

Die innere Luft aber ist weniger dicht als die äußere; daß sie dessen ungeachtet dem Druck der äußeren Luft das Gleichgewicht hält, rührt nur von dem Umstande her, daß sie wärmer ist. Man kann sich davon leicht durch den Versuch überzeugen.

Schmilzt man nämlich, während sich die Kugel a noch im kochenden Wasser befindet, das Spitzchen der Röhre zu, so ist alle Communication der inneren und der äußeren Luft aufgehoben, die innere Luft kann erkalten, ohne daß Luft von außen einströmen kann. Taucht man nun, sobald die Kugel ganz erkaltet ist, die Spitze in Wasser, wie man Fig. 2. sieht, bricht man sie unter Wasser ab, was wird nun geschehen? Sie werden um die Antwort nicht verlegen seyn! die Luft in der Kugel a hat eine geringere Elasticität als die äußere Luft, der Druck der Atmosphäre, welcher auf der Oberfläche des Wassers lastet, strebt dasselbe in die Kugel a hineinzupressen; die Luft in a besitzt nicht genug Elasticität, um diesem Druck zu widerstehen; das Wasser wird also durch das Röhrchen in die Kugel eindringen, die Luft in a auf ein kleineres Volumen zusammenpressen, bis dieselbe mit der äußeren Luft gleiche Dichtigkeit hat.

Fig. 2.



Die Luft also, welche bei 100° (dem Siedpunkt des Wassers) die ganze Kugel mit dem Röhrchen ausfüllte, und dabei doch noch gleiche Elasticität, gleiche Spannkraft mit der äußeren Luft hatte, kann jetzt, wo sie wieder erkaltet ist, bei gleichem Druck nur einen Theil der Kugel ausfüllen.

Je mehr man die Kugel erkaltet, desto mehr Wasser wird eindringen; das eingedrungene Wasser füllt aber gerade den Raum aus, in welchen sich die noch in der Kugel enthaltene Luft bei einer Temperaturerhöhung bis auf 100° ausdehnt.

Erkaltet man die Kugel bis auf 0°, vergleicht man alsdann das Volumen des eingedrungenen Wassers mit dem Volumen, welches die Luft in der Kugel noch einnimmt, so ergibt sich daraus, in welchem Verhältniß sich die Luft bei einer Temperaturerhöhung von 0° bis auf 100° ausdehnt; auf diese Weise hat man gefunden, daß 1000 Raumtheile Luft von 0° sich bei einer Temperaturerhöhung von 100° um 365 solcher Raumtheile ausdehnen.

Ich muß mich hier noch etwas weiter über die Elasticität luft-

förmiger Körper aussprechen, weil eine genauere Kenntniß derselben nöthig ist, um die Erscheinungen der Spannkraft der Dämpfe zu verstehen, welche in unseren Tagen eine so wichtige Rolle spielt, und von welcher ich Sie bald zu unterhalten gedenke.

In Folge ihrer Elasticität hat die Luft beständig ein Bestreben sich auszudehnen, sie drückt daher gegen alle Körper, welche ihre Ausdehnung verhindern. Die Ursache dieses Druckes ist die Elasticität, oder wie man auch sagt, die Spannkraft der Luft.

Eine Flasche, welche keine Flüssigkeit enthält, und welche wir offen stehen lassen, wird Luft enthalten, welche mit der äußeren Luft gleiche Dichtigkeit und Spannkraft hat. Eine solche Flasche werde nun verstopft, so ist die eingeschlossene Luft ganz abgesperrt. Vermöge ihrer Spannkraft drückt sie aber von Innen gegen die Glaswände, während die atmosphärische Luft von Außen drückt; der Druck von Innen ist gerade so stark als der Druck von Außen, denn wenn wir auch die Flasche öffnen, so wird ja das Gleichgewicht doch nicht gestört, die innere und äußere Luft haben ja gleiche Elasticität und Dichtigkeit. Die Spannkraft eingeschlossener Luft hält also dem Druck der äußeren Atmosphäre das Gleichgewicht, man sagt, die eingeschlossene Luft hat eine Spannkraft von einer Atmosphäre.

Wir wollen nun die Größe dieses Druckes näher kennen zu lernen suchen, wir wollen ausmitteln, wie stark denn der Druck der Atmosphäre auf ein gegebenes Flächenstück ist.

Sie wissen, daß die Quecksilbersäule im Barometer dem Luftdruck das Gleichgewicht hält, oder mit andern Worten, das Gewicht der Barometersäule ist gleich dem Gewicht einer Luftsäule von gleichem Querschnitt, welche von der Erdoberfläche bis zu der Gränze der Atmosphäre reicht.

Wenn nun der Querschnitt der Barometersäule ein Quadratcentimeter ist und wenn ihre Höhe gerade 28 Zoll beträgt, so wiegt eine solche Quecksilbersäule zwei Pfund, es geht daraus also hervor, daß die Atmosphäre auf jedes Quadratcentimeter Oberfläche mit einem Gewicht von ungefähr zwei Pfunden, auf jeden Quadratzoll also mit einem Gewicht von 15 Pfunden drückt.

Wenn also die in der Flasche eingeschlossene Luft eine Spannkraft von einer Atmosphäre hat, so wird sie auch gegen die Gefäßwände einen solchen Druck ausüben, daß jeder Quadratzoll derselben einen Druck von 15 Pfunden auszuhalten hat.

Wenn man den Kolben eben in die Oeffnung des Cylinders (Fig. 3.) von welchem schon im neunten Briefe Euler's I. Theil Seite 22 die Rede war, einsetzt, so ist eine Portion Luft von der Dichtigkeit der Atmosphäre abgesperrt. Stößt man den Kolben so weit in den Cylinder hinein, daß die abgesperrte Luft nur auf die Hälfte ihres Volumens comprimirt ist, so übt sie jetzt den doppelten Druck gegen die Wände aus, sie hat jetzt eine Spannkraft von zwei Atmosphären. Der Druck gegen jeden Quadratzoll der Cylinderwand sowohl wie der innern Kolbenfläche ist jetzt 30 Pfund. Comprimirt man die Luft auf $^1/_4$ ihres ursprünglichen Volumens, so ist ihre Spannkraft gleich dem Drucke von vier Atmosphären, sie drückt gegen jeden Quadratzoll Fläche mit einer Kraft von 60 Pfunden.

Fig. 3.

A

B G F E

Fünfter Brief.

Von den Wasserdämpfen.

Wenn man ein Gefäß mit Wasser an einem heißen Tage in's Freie stellt, so nimmt die Menge des Wassers mehr und mehr ab: das Wasser verdünstet. Wo aber ist das Wasser hingekommen? Verschwunden kann es nicht seyn; es hat nur seinen Zustand geändert, es ist nicht mehr tropfbar flüssig, sondern es ist gas(luft)förmig geworden und hat sich in dieser Gestalt in der Atmosphäre verbreitet.

Das luftförmig gewordene Wasser führt den Namen Wasserdampf. Der Wasserdampf ist vollkommen farblos und durchsichtig; im gewöhnlichen Leben bezeichnet man freilich mit dem Worte Wasserdampf etwas ganz Anderes, nämlich den Schwaden, welcher sich über einem Gefäß mit kochendem Wasser bildet; die dichten Wolkenmassen, welche dem Schornstein einer Locomotiv entsteigen u. s. w. Es ist dieß aber kein eigentlicher Dampf mehr, sondern es ist ein zu kleinen Bläschen verdichteter Wasserdampf. In der Luft ist beständig eine Menge Wasserdampf verbreitet, ohne daß wir ihn sehen können. An einem heißen Sommertage enthält die Luft eine Menge Wasserdampf und doch ist die Atmosphäre ganz durchsichtig und klar. Bringt man in die heiße Luft ein mit kaltem Wasser gefülltes Gefäß, ein solches etwa, welches in einem kühlen Keller gestanden hat, so sieht man, daß es sich ringsum

mit Thau beschlägt, was daher rührt, daß bei der Erkaltung der das Gefäß umgebenden Luft der in ihr enthaltene Wasserdampf seine Gasform verliert und sich in feinen Tröpfchen an das Gefäß ansetzt.

Durch den Wasserdampf verliert also die Atmosphäre ihre Durchsichtigkeit nicht; sie wird erst trübe, wenn durch eine Erkaltung ein Theil des Dampfes verdichtet wird, und kleine Bläschen, den Seifenblasen vergleichbar, sich bilden, welche in der Luft schwebend Nebel oder Wolken bilden.

Die Wasserdämpfe bilden und verbreiten sich jedoch nicht allein im lufterfüllten, sondern auch im luftleeren Raum; denn wenn man unter den Recipienten der Luftpumpe ein kleines Gefäß mit Wasser von ungefähr + 50° bringt, so geräth es schon nach einigen Kolbenzügen an's Kochen; das Kochen oder Sieden des Wassers aber ist nichts Anderes als eine durch die ganze Masse der Flüssigkeit vor sich gehende Dampfbildung. Die Dampfblasen, welche sich im Innern der Flüssigkeit bilden, steigen in die Höhe und daher rührt das Aufwallen. Wir sehen also hier, wie sich unter der Glocke der Luftpumpe Dampf bildet, und diese Dämpfe erfüllen den ganzen Recipienten, der also nun statt der Luft, welche vorher darin enthalten war, Wasserdämpfe enthält.

Wenn man eine Glaskugel von der Art, wie die, welche ich Ihnen in meinem vierten Briefe beschrieben habe, über einer Weingeistflamme erwärmt und dann die Spitze rasch in's Wasser taucht, so wissen Sie, daß beim Erkalten der Kugel das Wasser durch das Röhrchen aufsteigt. Man kann auf diese Weise die Kugel zum Theil mit Wasser füllen. Bringt man dieses Wasser über einer Weingeistlampe in's Kochen, so entweichen die Dämpfe mit Gewalt aus der feinen Spitze und treiben auch die in der Kugel noch enthaltene Luft aus, so daß, wenn das Kochen einige Zeit fortgedauert hat, nur noch Wasserdämpfe und etwas Wasser in demselben enhalten sind.

Wird nun die feine Spitze zugeschmolzen und gleichzeitig die Lampe entfernt, so haben in diesem Augenblick die Dämpfe in der Kugel gleiche Spannkraft mit der Atmosphäre, sie üben also gegen jeden Quadratzoll der Gefäßwand einen Druck von 15 Pfunden aus.

Erkaltet die Kugel, so verdichtet sich ein Theil der Dämpfe, was man daran erkennt, daß die Kugel im Innern sich mit kleinen Wassertröpfchen beschlägt; dabei nimmt aber die Spannkraft der Dämpfe sehr rasch ab; erwärmt man sie aber über 100° hinaus, so bilden sich in demselben Raum noch mehr Wasserdämpfe, die

Dämpfe werden dichter und dadurch vermehrt sich ihre Spannkraft sehr schnell; schon bei einer Temperatur von 121° drücken eingeschlossene Dämpfe so stark gegen die Gefäßwände, daß jeder Quadratzoll der Flächenwand von Innen her einen Druck von 30 Pfund auszuhalten hat, für diese Temperatur haben sie also schon eine Spannkraft von zwei Atmosphären.

Aus dem, was ich eben anführte, folgt, daß in einem geschlossenen Raum bei einer bestimmten Temperatur nur eine bestimmte Menge Wasserdampf sich bilden kann, daß für jede Temperatur die Dichtigkeit des Wasserdampfes über eine gewisse Gränze hinaus nicht wachsen kann.

Dieser Punkt ist für die Lehre von den Dämpfen von der höchsten Wichtigkeit, so daß es nöthig ist, ihn einer gründlichen Betrachtung zu unterwerfen.

Denken Sie sich einen hohlen Cylinder (Fig. 4.), auf dessen Boden sich etwas Wasser befindet, und welcher oben durch einen dichtschließenden Kolben geschlossen ist; das Innere des Kolbens sey luftleer und nur mit Wasserdämpfen erfüllt, so wird die Menge des Wasserdampfs, welcher sich zwischen der Wasseroberfläche und dem Kolben bilden kann, von der Temperatur abhängen.

Fig. 4.



Taucht man den Cylinder in kochendes Wasser, so wird er bald auch die Temperatur von 100° C annehmen und bei dieser Temperatur ist die Dichtigkeit des Wasserdampfs 1700mal geringer als die des Wassers, wenn also der Raum zwischen der Wasseroberfläche und dem Kolben 1700 Kubikzoll beträgt, so wird sich bei 100° in diesem Raum der Dampf von 1 Kubikzoll Wasser verbreiten. Ein Kubikzoll Wasser wiegt aber etwas mehr als ein Loth, in einem Raum von 1700 Kubikzollen kann sich also bei 100° etwas über 1 Loth Wasserdampf bilden.

Dieser Wasserdampf übt nun gegen die untere Fläche des Kolbens einen bestimmten Druck aus. Bei 100° ist der Druck der Wasserdämpfe, welcher von unten gegen den Kolben drückt, gerade eben so groß, wie der Druck der Atmosphäre; jeder Quadratzoll des Kolbens hat von unten und von oben einen Druck von 15 auszuhalten.

Denken Sie nun, daß man den Kolben durch irgend eine Kraft in den Cylinder hineindrückte, so daß jetzt der Raum unter

dem Kolben nur noch halb so groß ist als vorher, was wird geschehen?

Hätte man unter dem Kolben Luft gehabt, so würde diese, auf den halben Raum zusammengepreßt, die doppelte Spannkraft erlangt haben; bei den Dämpfen ist dieß nicht der Fall. Beim Hinabdrücken des Kolbens wird weder die Dichtigkeit noch die Spannkraft der Wasserdämpfe vermehrt. In einem halb so großen Raum kann bei derselben Temperatur nur halb so viel Wasserdampf existiren, wenn man also den Kolben so weit hinabdrückt, daß der Raum unter ihm nur noch 850 Kubikzoll beträgt, so kann in diesem Raum nur 1/2 Loth Wasserdampf existiren, durch das Herabdrücken des Kolbens ist also die Hälfte des Wasserdampfs, welche vorher unter dem Kolben war, zu Wasser verdichtet worden. Die Spannkraft bleibt nach wie vor unverändert.

Beim Hinaufziehen des Kolbens werden sich wieder neue Wasserdämpfe bilden, und zwar gerade so viel, daß ihre Dichtigkeit stets ungeändert bleibt.

Steigert man die Temperatur, so bilden sich in demselben Raum mehr Dämpfe, und in Folge dessen steigt auch ihre Spannkraft, der Druck, den sie gegen die Gefäßwände ausübten. Die Dichtigkeit der Dämpfe und die Größe ihres Druckes ist stets von der Temperatur abhängig.

Sechster Brief.

Von der Spannkraft der Dämpfe.

In meinem letzten Briefe habe ich Ihnen gezeigt, daß in einem gegebenen Raum bei einer bestimmten Temperatur nicht über eine begränzte Menge Dampf existiren, daß also auch die Spannkraft des Dampfes nicht durch Compression des Dampfes vermehrt werden kann.

Sobald jedoch die Temperatur steigt, nimmt die Spannkraft der Dämpfe sehr rasch zu; weit rascher als es bei den Gasen der Fall ist; wir wollen sehen, woher diese rasche Zunahme der Spannkraft der Dämpfe rührt.

Wenn ein verschlossener Raum ausser etwas Wasser nur noch Wasserdampf enthält, wie bei dem im dritten Briefe angeführten Versuch mit der hohlen Glaskugel, so hängt die Quantität des Dampfes in diesem Raume von der Temperatur ab. Erhöht man

die Temperatur, so wächst die Spannkraft des Dampfes nicht allein deßhalb, weil sich der schon vorhandene Dampf ganz so wie ein Gas auszudehnen strebt, sondern vorzugsweise deßhalb, weil eine neue Portion Wasser verdampft und also auch die Dichtigkeit des Dampfes wächst.

Bei einer Temperation von 100° ist die Spannkraft des Wasserdampfes gleich dem Druck einer Atmosphäre, bei einer Erwärmung auf 121° (natürlich muß der Raum, in welchem sich das Wasser und Wasserdämpfe befinden, ganz abgesperrt seyn, wie bei der zugeschmolzenen Glaskugel) steigt die Spannkraft der Dämpfe schon auf das Doppelte, sie wird gleich dem Druck von zwei Atmosphären.

Enthielte die zugeschmolzene Glaskugel nur Luft, so würde deren Spannkraft bei einer Temperatur-Erhöhung von 100° auf 121° nur im Verhältniß von 136 zu 144, oder was dasselbe ist, wie 17 zu 18 zunehmen, denn in diesem Verhältniß würde sich die Luft bei dieser Temperatur-Erhöhung ausdehnen, wenn sie daran nicht durch die Glaswände verhindert würde. Es hat hiebei durchaus keine Vergrößerung der Dichtigkeit der Luft stattgefunden, die Erhöhung der Spannkraft ist hier lediglich der Zunahme der Temperatur zuzuschreiben.

Bei dem Wasserdampf ist es anders; seine Spannkraft steigt bei gleicher Temperaturerhöhung nicht in dem unbedeutenden Verhältniß von 17 zu 18, sondern auf das Doppelte, vorzugsweise weil er dichter geworden ist, weil sich jetzt in demselben Raum beinahe doppelt so viel Wasserdampf befindet als vorher.

Damit aber in einem abgeschlossenen Raume die Spannkraft des Wasserdampfes in dem angegebenen Verhältnisse wachsen könne, ist durchaus erforderlich, daß noch Wasser vorhanden sey, aus welchem sich noch Dampf bilden kann.

Denken Sie sich das Wasser in der Glaskugel, von welcher bisher die Rede war, so lange im Sieden erhalten, bis der letzte Tropfen Wasser verdampft ist, so enthält die Kugel nur noch Wasserdampf von 100°, dessen Spannkraft eine Atmosphäre beträgt. Wenn nun die Kugel in dem Momente zugeschmolzen wird, in welchem das letzte Wassertheilchen die Dampfform annimmt, so wird bei fernerer Erwärmung der Kugel wohl die Temperatur des eingeschlossenen Dampfes und also auch seine Spannkraft etwas wachsen, allein es kann sich kein neuer Dampf bilden, die Dichtigkeit des Dampfes bleibt unverändert.

Für die Temperatur von 100 ° ist bei diesem Versuch der Wasserdampf in der Kugel gesättigt, d. h. bei dieser Temperatur könnte in diesem Raume nicht mehr Dampf enthalten seyn; für eine höhere Temperatur ist aber der Dampf nicht gesättigt, denn für eine höhere Temperatur könnte mehr Wasserdampf in demselben Raume seyn, es würde sich auch eine neue Quantität Dampf bilden, wenn nur Wasser vorhanden wäre, welches ihn liefern könnte.

Ein solcher nicht gesättigter Dampf wird auch ein überhitzter Dampf genannt.

Für jeden Temperaturgrad gibt es einen Sättigungspunkt des Dampfes. Ist der Dampf für eine bestimmte Temperatur gesättigt, so kann ohne Temperatur-Erhöhung weder seine Dichtigkeit noch seine Spannkraft vermehrt werden, kurz jedem Temperaturgrad kommt ein bestimmtes Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes zu.

Das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes wächst, wie bereits erwähnt wurde, mit der Temperatur, in einer Weise, wie Sie aus der folgenden Tabelle ersehen werden.

Spannkraft in Atmosphären.	Temperatur.	Druck auf 1 Quadratzoll Oberfläche.
$^1/_{64}$	15 °	$7^1/_2$ Loth
$^1/_{16}$	37	30 —
$^1/_4$	65	$3^3/_4$ Pfund
$^1/_2$	81	$7^1/_2$ —
1	100	15 —
2	121	30 —
4	145	60 —
8	172	120 —
16	204	240 —

Wenn also die Glaskugel, von welcher am Schlusse des dritten Briefes die Rede war, bis auf 15 ° erkaltet, so verdichtet sich der größte Theil der Dämpfe, die noch übrigen drücken mit einer Kraft von $7^1/_2$ Loth gegen jeden Quadratzoll der Flächenwand; erwärmt man sie aber bis auf 145 °, 172 ° u. s. w., so beträgt der Druck gegen jeden Quadratzoll der Flächenwand 60, 120 Pfund u. s. w.

Wenn durch fortgesetztes Erwärmen die Spannkraft der Dämpfe mehr und mehr wächst, so ist endlich die Glaswand nicht

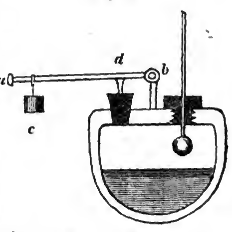
mehr im Stande, ihr Widerstand zu leisten, die Kugel wird unter starkem Knall zerplatzen.

Kessel von Metallblech können natürlich einen stärkern Druck aushalten als Glasgefäße, doch kommen auch bei diesen bisweilen Explosionen vor.

Sie werden fragen, auf welche Weise man ermitteln konnte, wie die Spannkraft der Dämpfe mit steigender Temperatur zunimmt? Man kann dieß entweder mit Hülfe sogenannter Sicherheitsventile oder mittelst Barometerartigen Vorrichtungen ermitteln. Die erstgenannte ältere Methode gibt weniger genaue Resultate.

In Fig. 5. sey der Durchschnitt eines kleinen kupfernen Kessels dargestellt, in welchem sich nur zwei Oeffnungen befinden, in der einen ist ein Thermometer eingeschraubt, die andere ist durch einen Metallkegel geschlossen, welcher durch das am Hebelarm ab hängende Gewicht c fest auf die Oeffnung gedrückt wird. Ist die Größe des Gewichts c und das Verhältniß der Hebelarme ab und ad bekannt, so kann man leicht berechnen, wie groß der Druck ist, welcher das Ventil niederdrückt. Von innen wirkt nun die Spannkraft der Dämpfe gegen die untere Fläche des Ventils und strebt es zu lüften, was auch wirklich geschieht, sobald der Druck der Dämpfe von Innen den durch das Gewicht c bewirkten Druck von Aussen das Gleichgewicht hält. Durch Verrücken des Gewichtes an dem Hebelarme ab kann man den Druck auf das Ventil nach Belieben größer oder kleiner machen.

Fig. 5.



Nehmen wir an, der innere Querschnitt des Ventils sey $^1/_4$ Quadratzoll, das Gewicht c sey so gestellt, daß der Druck auf das Ventil 15 Pfund beträgt, so wird das Lüften des Ventils beginnen, wenn der Thermometer auf 145° gestiegen ist; bei 145° drücken also die Dämpfe gegen $^1/_4$ Quadratzoll Oberfläche mit einer Kraft von 15, gegen 1 Quadratzoll also mit einer Kraft von 60 Pfund.

Hätte man das Gewicht so gestellt, daß die Belastung des Ventils größer oder kleiner gewesen wäre, so würde das Lüften erst bei einer höheren oder schon niedrigeren Temperatur eingetreten seyn.

Die erwähnten barometerartigen Vorrichtungen haben im Wesentlichen folgende Einrichtung:

Fig. 6.

In Fig. 6. sey ab ein sehr hohes, oben offenes Barometerrohr mit einem weiteren Gefässe c, welches oben zugeschmolzen ist. So weit die dunklere Schattirung reicht, sey der Apparat mit Quecksilber, der ganze Raum in c über dem Quecksilber aber sey mit Wasser gefüllt, in der engen Röhre stehe das Quecksilber so hoch wie in der weiten.

Erwärmt man nun den untern Theil des Apparates, so werden sich nicht eher Dämpfe bilden können, als bis die Temperatur auf 100° gestiegen ist, denn wenn sich Dämpfe bilden, so müssen sie das Quecksilber in c niederdrücken, in der Röhre ab aber heben, sie müssen also einen Druck ausüben können, der größer ist als der Druck der Atmosphäre, denn der Druck der Atmosphäre lastet ja auf der Oberfläche des Quecksilbers in der Röhre ab.

Sobald aber die Temperatur des Wassers in c über 100 steigt, beginnt auch die Quecksilbersäule in die Röhre ab zu steigen. Bei 121° wird die Quecksilbersäule in ab sich um 28 Zoll über den Niveau des Quecksilbers in c erheben; die Spannkraft der Dämpfe in c ist also zwei Atmosphären gleich, denn sie trägt außer dem Atmosphärendruck noch eine Quecksilbersäule von 28 Zoll.

a

c

b

Bei einer Temperatur von 145° ist die Höhe der gehobenen Quecksilbersäule 3mal 28 Zoll, also die Spannkraft der Dämpfe 4 Atmosphären u. s. w.

Siebenter Brief.

Die Dampfmaschine.

Nach den vorausgegangenen Auseinandersetzungen wird es Ihnen jetzt begreiflich seyn, wie man auf die Idee kam, die Spannkraft des Wasserdampfes als bewegende Kraft zu benützen. — Die Erfindung der Dampfmaschinen, deren Wirkung auf der Spannkraft der Wasserdämpfe beruht, hat in der That eine welthistorische Bedeutung, denn durch sie nur wurden größtentheils die Riesenschritte der neueren Industrie möglich; die Dampfmaschinen haben

eine Erleichterung der Communciation bewirkt, welche dem Handel einen neuen Aufschwung gab, die Entfernungen verschwinden, die Völker sind einander näher gerückt, die Eigenthümlichkeiten werden durch die erleichterten Reisen abgeschliffen, und somit wirken die Dampfmaschinen auch mächtig auf die socialen und nationalen Verhältnisse ein.

Schon Hero von Alexandrien hatte die Reaction des aus einer engen Oeffnung ausströmenden Dampfes benützt, um einen kleinen Apparat in Rotation zu versetzen; ein italienischer Mathematiker, Brankas, ließ den mit Gewalt aus einer kleinen Oeffnung hervorströmenden Dampf gegen die Schaufeln eines Rädchens stoßen, welches dadurch umgedreht wurde. Diese Versuche konnten aber nicht zu practischen Resultaten führen, weil hier nicht direct die Spannkraft des Dampfes, sondern der Stoß oder die Reaction des ausströmenden Dampfes zur Wirkung kamen, wobei nothwendig ein bedeutender Theil der Kraft verloren geht.

Wie außerordentlich stark die mechanische Kraft des Wasserdampfes bei höheren Temperaturen werden könne, hat zuerst Papin, mittels des Ventils, an dem nach ihm benannten Papianischen Topf, einem Apparate, von der im vorigen Briefe pag. 19 beschriebenen Art, nachgewiesen. In dem Jahre 1687 konstruirte er einen Cylinder, in welchem ein Kolben durch den Druck der Dämpfe bewegt wurde, und dieß ist in der That die Grundidee, auf welcher unsere heutigen Dampfmaschinen beruhen, doch gelang es Papin noch nicht, eine für die Praxis brauchbare Maschine zu liefern.

Die erste practisch angewandte Maschine baute Savary im Jahr 1688, nach einem ganz andern Princip. Seine Maschine hatte nur den Zweck, das Wasser aus den Schachten der Bergwerke wegzuschaffen, und diesen Zweck erreichte er dadurch, daß er durch Verdichtung des Wasserdampfes in einem kesselartigen Raum ein Vacuum erzeugte, in welches dann durch ein Rohr aus der Tiefe das Wasser aufgesaugt wurde. Das Saugrohr wurde nun abgesperrt und durch den Druck neu zugeführter Dämpfe das aufgesaugte Wasser durch ein Steigrohr weiter in die Höhe gehoben.

Newcomen konstruirte zu gleichem Zweck, nämlich zur Förderung des Grubenwassers, die erste praktisch angewandte Kolbenmaschine. In einem Cylinder geht ein Kolben luftdicht auf und nieder. Von einem Dampfkessel führt ein Rohr zu dem untern Ende des Cylinders, ein in demselben angebrachter Hahnen setzt, je nach seiner Stellung, Kessel und Cylinder in Verbindung oder

er sperrt sie ab. Der Kolben sey ganz unten im Cylinder und der Hahnen geöffnet, so wird der Dampf aus dem Kessel in den Cylinder strömen, gegen die untere Kolbenfläche drücken, und wenn der Druck stark genug ist, den Kolben in die Höhe treiben. Wenn der Kolben oben angekommen ist, wird die Communication zwischen Kessel und Cylinder unterbrochen, durch ein seitwärts angebrachtes Rohr etwas kaltes Wasser in den Cylinder gespritzt und dadurch der im Cylinder befindliche Dampf größtentheils condensirt, die Spannkraft der Dämpfe unter dem Kolben wird dadurch so sehr verringert, daß der Druck der Atmosphäre, welcher auf der oberen Kolbenfläche lastet, den Kolben niederdrückt. Nun wird der Hahnen wieder geöffnet und dasselbe Spiel beginnt von Neuem. Der Kolben ist nun an dem einen Ende eines horizontalen Hebels befestigt, an dem Ende des andern Hebelarmes aber hängt eine Pumpenstange; durch das Auf- und Niedergehen des Kolbens wird also auch die Pumpenstange auf- und niedergezogen.

Weil bei diesen Maschinen der Niedergang des Kolbens durch den Druck der Atmosphäre bewirkt wird, so nannte man sie atmosphärische Maschinen.

Was die Construction der neueren Dampfmaschinen betrifft, so muß ich mich darauf beschränken, Ihnen nur das Wesentlichste klar und deutlich zu machen; was aber die Beschreibung der Details solcher Maschinen betrifft, so ist es nicht wohl möglich, durch Briefe die Anschauung ausgeführter Maschinen oder ausgeführter Zeichnungen zu ersetzen.

In nebenstehender Fig. 7. ist eine Dampfmaschine der einfachsten Art, mit Hinweglassung alles dessen, was nicht zum Verständniß der Hauptsache nöthig ist, dargestellt. Der im Durchschnitt dargestellte Cylinder 1 ist oben und unten luftdicht verschlossen. In dem oberen Deckel befindet sich eine, mit einer von Werg ausgefütterten Stopfbüchse versehene Oeffnung, in welcher die Kolbenstange luftdicht hin und hergeht; an dieser Kolbenstange ist alsdann der Kolben 2 befestigt.

Von der rechten Seite her führt der Kanal 4 zu dem oberen, der Kanal 5 führt zu dem unteren Theile des Cylinders, und zwar kommen diese Kanäle aus einer Kammer, welche gleichsam an den Cylinder angehängt ist. In diese Kammer tritt der Dampf aus dem Kessel kommend durch die Röhre b. In dieser Kammer bewegt sich nun ein Schieber auf und nieder, und dadurch



Fig. 7.

wird der Dampf abwechselnd in die oberen und die unteren Theile des Cylinders geleitet.

Fig. 7. stellt den Schieber in der Lage vor, welche er hat, wenn der Kolben 2 gerade ganz unten oder ganz oben ist. Der Schieber verschließt beide Kanäle; sobald aber der Kolben 2 herunter zu gehen beginnt, wird der Schieber niedergezogen, er kommt in die Stellung Fig. 8., der Dampf kann oben in den Cylinder treten und den Kolben niedertreiben.

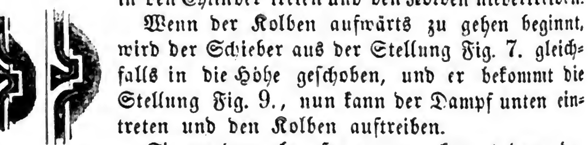


Fig. 8. u. Fig. 9.

Wenn der Kolben aufwärts zu gehen beginnt, wird der Schieber aus der Stellung Fig. 7. gleichfalls in die Höhe geschoben, und er bekommt die Stellung Fig. 9., nun kann der Dampf unten eintreten und den Kolben auftreiben.

Sie werden aber fragen: wo kommt denn der Dampf hin, der den Kolben in die Höhe getrieben hat, wenn derselbe niederzugehen beginnt? wo kommt der Dampf hin, welcher den ganzen obern Theil des Cylinders ausfüllt in dem Moment, in welchem der Kolben aufzusteigen beginnt?

So viel ist klar, wenn der Kolben in die Höhe geht, muß der Dampf aus dem oberen, wenn er niedergeht, muß er aus dem unteren Theile des Cylinders entweichen können.

Dieß wird nun ebenfalls durch den Vertheilungsschieber bewirkt; derselbe ist nämlich, wie Sie in den beiliegenden Figuren sehen, hohl. In der Fig. 8. verbindet die Höhlung den Kanal 5 mit dem Kanal 6, der seitwärts in die freie Luft führt, bei dieser Stellung des Schiebers kann also, während der Dampf durch 4 oben in den Cylinder eintritt und ihn niedertreibt, der Dampf aus dem untern Theile des Cylinders durch den Kanal 5 und die Höhlung des Schiebers zum Kanale 6 und aus diesem in die Luft entweichen. Wenn der Schieber die Stellung Fig. 9. hat, so tritt der frische Dampf unten ein, der verbrauchte Dampf entweicht aber nun durch den Kanal 4 in die Höhlung des Schiebers und aus diesem durch den Kanal 6 in die Luft.

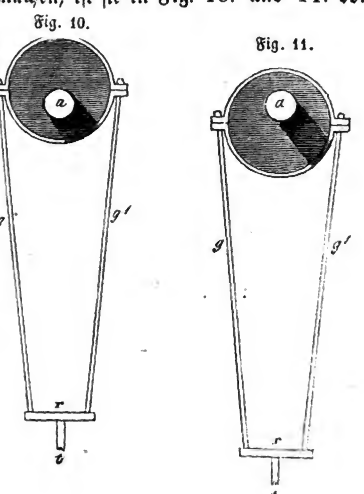
Ich habe Ihnen nun gezeigt, wie der Kolben durch den Dampf abwechselnd auf- und niedergetrieben wird; in meinem nächsten Briefe werde ich Ihnen zeigen, wie diese hin- und hergehende Bewegung des Kolbens in eine rotirende Bewegung verwandelt wird.

Achter Brief.

Von der Dampfmaschine. Fortsetzung.

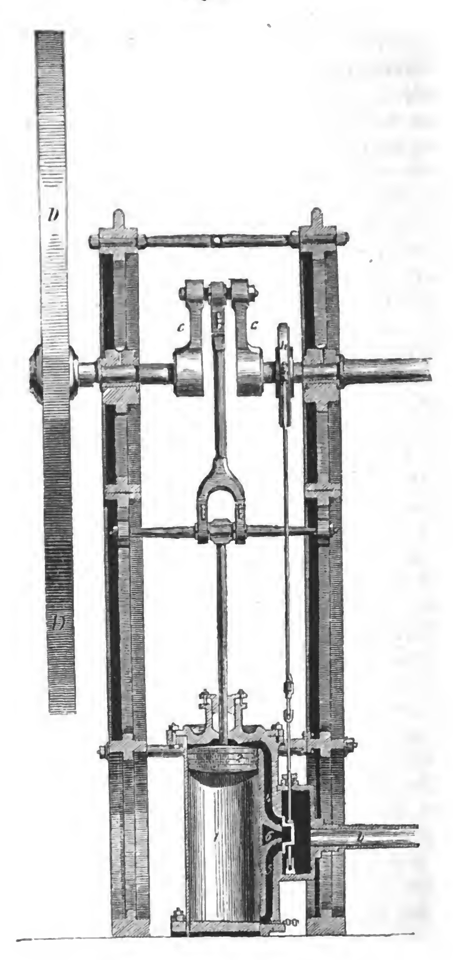
An der Kolbenstange unserer Maschine Fig. 7. ist eine Bleuelstange befestigt, welche in die Kurbel c eingreift; das Auf- und Niedergehen des Kolbens bewirkt also durch Vermittelung der Bleuelstange die Umdrehung der Kurbel, an deren Axe auch das Schwungrad D befestigt ist, ganz in ähnlicher Weise, wie auch bei einer gewöhnlichen Drehbank oder einem Spinnrade die Rotation der Axe durch die auf- und niedergehende Bewegung des Trittes hervorgebracht wird.

Das Auf- und Niederziehen des Schiebers muß natürlich auch durch die Maschine selbst bewerkstelligt werden. Sie sehen in der Figur, daß der Vertheilungsschieber an einer Stange hängt, die oben bei h an der Kurbelaxe, vermittelst einer excentrischen Scheibe befestigt ist. Diese excentrische Scheibe sitzt rechtwinklig auf der Axe, sie erscheint deßhalb in Fig. 7. verkürzt; um die Einrichtung aber deutlich zu machen, ist sie in Fig. 10. und 11. von vornen, d. h. in der Richtung der Axe gesehen dargestellt.



a ist der Durchschnitt der verkürzt erscheinenden Umdrehungsaxe; an dieser ist nun eine kreisförmige Scheibe befestigt, deren Mittelpunkt nicht mit dem der Umdrehungsaxe zusammenfällt und so kommt es denn, daß die excentrische Scheibe während der Rotation um die Axe herumgeführt wird; in Fig. 11. ist sie dargestellt, wie sie unter der Axe herabhängt, in Fig. 10. wie sie sich über der Axe befindet. In den Zwischenlagen wird sie einmal auf der linken und einmal auf der rechten Seite von a hängen.

Fig. 7.



Um diese excentrische Scheibe ist nun ein Ring gelegt, an dem die Stangen g und g' befestigt sind, welche den Querstab r tragen, an dem die Schieberstange t befestigt ist. Es ist nun klar, daß wenn während die Rotation der Axe a, der Mittelpunkt der excentrischen Scheiben, und also diese selbst um den Mittelpunkt von a herumgeführt wird, auch die Ringe und die Stange g an dieser Bewegung Theil nehmen müssen, so daß die Stange g sammt r und t, also auch der Schieber, der an t hängt, auf- und niedergezogen werden, wie dieß auch in Fig. 10 und 11 angedeutet ist.

Ich habe Ihnen hier eine Dampfmaschine beschrieben, so einfach, wie sie nur immer seyn kann. Die Theile, welche Sie hier kennen gelernt haben, finden Sie, wenn auch in etwas anderer Form, wenn auch in anderer gegenseitiger Stellung, fast immer wieder. Der Cylinder ist der wesentlichste Theil aller Dampfmaschinen; die Bewegung des Kolbens wird durch eine oder mehrere Zwischenstangen auf die Kurbel der Hauptaxe übertragen. Die Vertheilung des Dampfes in der Weise, daß er abwechselnd unten und oben in den Cylinder einströmt, geschieht durch die Vertheilungsschieber, deren Gestalt auch nicht bei allen Maschinen dieselbe ist. Die Bewegung des Vertheilungsschiebers wird fast immer durch eine excentrische Scheibe bewirkt.

Fast an allen Dampfmaschinen sind Pumpen angebracht, welche Wasser in den Kessel einpumpen, um das wieder zu ersetzen, was verdampft wird. Die Stangen dieser Pumpen sind sehr häufig auch durch excentrische Scheiben geführt.

Das Schwungrad dient dazu, den Gang der Maschine gleichförmig zu erhalten.

Die Maschine, welche ich Ihnen eben beschrieben habe, ist eine Hochdruckmaschine, d. h. eine solche, in welcher Druck von hoher Spannung wirkt. Während in die eine Seite des Cylinders der Dampf vom Kessel eindringt, steht das andere Ende mit der äußeren Luft in Verbindung; wenn also auf der einen Seite des Kolbens der Dampf drückt, so lastet auf der andern Seite desselben der Druck der atmosphärischen Luft, wenn also die Maschine eine kräftige Wirkung hervorbringen soll, so muß der Druck des Dampfes bedeutend stärker seyn, als der der Atmosphäre, der Dampf muß eine Spannkraft von 3, 4 und mehr Atmosphären haben.

Je größer die Spannkraft des Dampfes ist, desto kleiner kann natürlich bei gleichem Widerstand die Kolbenfläche seyn. Wenn die Spannkraft des Dampfes 4 Atmosphären beträgt, so ist sein

Gesammtdruck gegen einen Kolben von 1 Quadratfuß eben so groß als der Druck des Dampfes gegen einen Kolben von 2 Quadratfuß, wenn die Spannkraft der Dämpfe nur dem Druck von 2 Atmosphären gleich ist. Bei gleicher Wirkung können also die Dimensionen der Maschinen um so kleiner werden, je größer die Spannkraft der Dämpfe ist. Deßhalb wendet man überall, wo es darauf ankommt, Raum zu ersparen, wie z. B. auf Locomotiven, stets Dampf von hoher Spannung an.

Den Gegensatz zu den Hochdruckmaschinen bilden die Niederdruckmaschinen, d. h. solche, bei denen ein Dampf von geringerer Spannung angewendet wird. Bei gleicher Wirkung haben diese Maschinen bedeutend größere Dimensionen; der wesentlichste Punkt aber, durch welchen sie sich von den Hochdruckmaschinen unterscheiden, ist der Condensator.

Bei den Hochdruckmaschinen wirkt auf der einen Seite des Kolbens der Dampf, auf der andern Seite drückt die atmosphärische Luft. Wenn nun der Dampf nur eine geringe Spannkraft, etwa eine Spannkraft von 1 bis 2 Atmosphären hätte, so würde bei dieser Einrichtung der Maschine der größte Theil des Dampfdrucks zur Ueberwindung des Luftwiderstandes verloren gehen; wenn man also bei geringer Spannkraft der Dämpfe doch noch eine vortheilhafte Wirkung haben will, so muß man dafür sorgen, daß auf der andern Seite des Kolbens ein verdünnter Raum sich erzeugt hat, so daß dem Dampfdruck auf der einen Seite des Kolbens nicht der ganze Luftdruck, sondern nur ein ganz geringer Druck auf der andern Seite des Kolbens entgegenwirkt.

Denken Sie sich, daß die Röhre, welche bei der Maschine Fig. 7. aus dem Kanale 6 in die freie Luft führt, diesen Kanal mit einem luftleeren Behälter verbindet, in welches beständig kaltes Wasser einspritzt, so werden die Dämpfe aus demjenigen Theil des Cylinders, der gerade mit diesem Raum in Verbindnng steht, in denselben überströmen, um sogleich zu Wasser verdichtet zu werden, es entsteht also ein verdünnter Raum auf der einen Seite des Kolbens.

Das Behälter nun, in welchem durch fortwährende Einspritzung von kaltem Wasser die Dämpfe verdichtet werden, ist der Condensator.

Da beständig Wasser in den Condensator einspritzt, so würde er bald mit Wasser gefüllt seyn und somit auch der Gang der Maschine aufhören müssen, wenn das eingespritzte Wasser nicht be-

ständig, durch eine eigens dazu eingerichtete Pumpe, aus dem Condensator fortgepumpt würde.

Diese Pumpe wird gewöhnlich die Luftpumpe genannt, weil sie mit dem Wasser auch die Luft mit fortnimmt, die etwa beim Kochen im Kessel aus dem Wasser, welches immer etwas Luft enthält, frei wird.

Die Luftpumpe wird durch die Maschine selbst in ähnlicher Weise in Bewegung gesetzt, wie auch andere an der Maschine angebrachte Pumpen.

Neunter Brief.

Von der gebundenen Wärme.

Um die Gesetze der Dampfbildung vollständig kennen zu lernen, müssen wir noch die Bindung der Wärme beim Uebergang aus dem flüssigen in den dampfförmigen Zustand betrachten.

Die Erscheinung der Wärmebindung tritt sowohl beim Schmelzen als auch beim Verdampfen auf; wir wollen die Bindung der Wärme im ersten Falle vorerst betrachten.

Bringen Sie ein Waschbecken voll Schnee in ein geheiztes Zimmer, so wird der Schnee alsbald zu schmelzen anfangen, seine Temperatur bleibt aber unverändert dieselbe, nämlich 0°, bis aller Schnee geschmolzen, bis also aller Schnee von 0° in Wasser von 0° verwandelt worden ist.

Während dieser ganzen Zeit geht aber doch nun Wärme in den Schnee über. Diese Wärme ist für das Gefühl verloren, sie hat keine Temperaturerhöhung, sondern lediglich eine Zustandsveränderung hervorgebracht; sie hat einen festen Körper in einen flüssigen verwandelt.

Von dieser Wärme nun, welche in einen Körper übergeht, ohne daß das Thermometer davon afficirt wird, welche aber den Aggregatzustand des Körpers verändert, sagt man, sie sey gebunden worden. Gebundene Wärme und latente Wärme sind gleichbedeutende Ausdrücke.

Nachdem man sich überzeugt hat, daß überhaupt beim Uebergang aus dem festen in den flüssigen Zustand Wärme gebunden wird, kommt es darauf an, die Quantität der gebundenen Wärme zu ermitteln. Ein einfacher Versuch gibt uns wenigstens eine angenäherte Bestimmung. Wägen Sie in irgend einem Gefäße ein

Pfund Schnee ab, und in einem andern 1 Pfund Wasser; wird nun dieses Wasser auf 79 ° C. erwärmt und dann auf den Schnee gegossen, so wird der Schnee schmelzen; man hat jetzt 2 Pfund Wasser, aber von welcher Temperatur? Der Schnee war 0°, das Wasser von 79 °, man sollte also auf den ersten Anblick meinen, die Temperatur der Mischung müßte die Mitte, sie müßte $39\frac{1}{2}$ ° seyn; der Versuch zeigt aber, daß dem nicht so sey, man findet mit Hülfe des Thermometers, daß die Mischung ebenfalls eine Temperatur von 0 ° hat. Die ganze Wärmemenge also, welche 1 Pfund Wasser bei seiner Erkaltung von 79 ° auf 0 ° abgab, hat nur dazu gedient, um 1 Pfund Schnee von 0 ° zu schmelzen, um 1 Pfund Schnee von 0 ° in Wasser von 0 ° zu verwandeln.

Zur Schmelzung von 1 Pfund Schnee ist also eine ebenso große Wärmemenge nöthig, als um 1 Pfund Wasser von 0 ° auf 79 ° zu erwärmen.

Wir sehen also, daß beim Schmelzen des Schnees, und dasselbe gilt auch vom Eise, eine sehr bedeutende Wärmemenge gleichsam verschluckt wird. Das erklärt uns auch, warum es im Frühjahre nicht eher recht warm werden kann, als bis aller Schnee und alles Eis weggeschmolzen sind. Solange noch viel Schnee und Eis vorhanden ist, wird alle Wärme der Sonnenstrahlen, alle Wärme, welche etwa warme Winde herheiführen, zur Schmelzung des Schnee's und des Eises verwendet, erst wenn diese weg sind, kann die Temperatur der Luft rascher steigen. Je mehr Schnee und Eis im Laufe des Winters angehäuft wurde, desto mehr Wärme wird im Frühjahr zum Schmelzen derselben absorbirt, desto später kann der Temperaturgrad der Atmosphäre erreicht werden, bei welchen das Erwachen der Vegetation stattfindet. Es ist eine bekannte Thatsache, daß auf einen schneereichen kalten Winter ein spätes Frühjahr folgt und diese Thatsache erklärt sich aus der Bindung der Wärme beim Schmelzen des Schnees und des Eises.

Das Eis ist bekanntlich leichter als Wasser, denn es schwimmt auf demselben. Dieser unbedeutend scheinende Umstand ist von der größten Wichtigkeit im Haushalt der Natur; er ist ein Beweis der unendlichen Weisheit des Schöpfers; denn wenn es nicht so wäre, so würde der größte Theil der Erdoberfläche vor Kälte unbewohnbar seyn. Das Eis, welches sich auf der Oberfläche der Flüsse und Seen bildet, schützt das Wasser vor einem tiefern Eindringen der Kälte, denn das Eis ist ein sehr schlechter Wärmeleiter. Wenn aber das Eis schwerer wäre als das Wasser, so würde die

Eisdecke alsbald untersinken, und das Wasser käme wieder in Berührung mit der kalten Luft; es müßte sich eine neue Eisdecke bilden, die ebenfalls bald untersinken würde u. s. w. So würden denn in kurzer Zeit alle Flüsse und Seen bis auf den Grund gefroren seyn. Die Strahlen der im Frühjahr höher steigenden Sonne hätten solche Massen von Eis zu schmelzen, daß kaum der ganze Sommer dazu hinreichen würde; im Laufe des ganzen Sommers würde es also kühl bleiben, der wiederkehrende Winter würde noch Eis antreffen und noch größere Eismassen angehäuft werden. So würden denn unsere Gegenden wenigstens mit ewigem Schnee und Eis überdeckt und gänzlich unbewohnbar, nur die Tropen und die sie begränzenden Länder würden bewohnbar seyn.

Wenn bei der Schmelzung eines Körpers Wärme gebunden wird, so muß auch Wärme frei werden, d. h. es muß eine Temperaturerhöhung stattfinden, so oft ein flüssiger Körper fest wird. Die Erfahrung scheint dieß bei der Eisbildung wenigstens auf den ersten Anblick nicht zu bestätigen; wenigstens zeigt sich bei dem Gefrieren des Wassers unter den gewöhnlichen Umständen keine merkliche Temperaturerhöhung. Dieß erklärt sich jedoch sehr wohl, wenn man das Gefrieren des Wassers genauer beobachtet. Wenn eine Wassermasse von 0° in einer noch weit kälteren Umgebung sich befindet, so müßte die ganze Masse auf einmal fest werden, wenn beim Gefrieren keine Wärme frei würde. Das geschieht aber nicht; das Wasser friert nur nach und nach, indem sich immer von Neuem kleine Eisnadeln ansetzen, weil bei der Bildung eines jeden kleinen Eistheilchens etwas Wärme frei wird, welche das Gefrieren der benachbarten Wassertheilchen verzögert. Die frei werdende Wärme ist eben deßhalb unmerklich, weil sie nur nach und nach in sehr kleinen Quantitäten frei wird, und sich also auch allmälig wieder verlieren kann, ohne daß man sie hätte bemerken können.

Die beim Gefrieren frei werdende Wärme könnte nur dann eine im Thermometer nachweisbare Temperaturerhöhung hervorbringen, wenn das Gefrieren der ganzen Masse auf einmal stattfände, wie man dieß manchmal unter besondern Umständen beobachtet.

Vielleicht haben Sie in sehr kalten Wintern selbst schon die Beobachtung gemacht, daß das Wasser in einem Waschbecken, welches im Kalten stand, nicht gefroren war, daß sich aber eine Menge Eisnadeln in dem Augenblick bildeten, in welchem man mit der

Hand in das Wasser hineingreift; Aehnliches beobachtet man auch bei Wasser, welches in Flaschen in kalten Räumen gestanden hat. Während man vorher keine Spur von Eis in der Flasche wahrnahm, schwimmen plötzlich viele Eisnadeln in der ganzen Wassermasse herum, sobald man die Flasche rüttelt oder das Wasser auszugießen beginnt. Hier bildet sich also eine größere Menge Eis auf einmal.

Das Wasser, welches diese Erscheinung zeigt, ist stets unter 0° erkaltet, ohne fest zu werden, wie man sehen kann, wenn ein Thermometer sich im Wasser befindet. Wenn die Gefässe mit Wasser ganz ruhig stehen, so erkaltet das Wasser oft bis auf — 5°, ja bis auf — 10°, ohne daß sich die Eisbildung einstellt, welche sogleich beginnt, sobald es erschüttert wird. Dabei steigt aber das Thermometer augenblicklich bis auf 0°.

Die Masse, aus welcher die Gypsfiguren bestehen, ist eine Verbindung von Gyps (schwefelsaurem Kalk) und Wasser; wenn sich nun das Wasser mit dem Gyps verbindet, so hört es auf flüssig zu seyn, es bildet ja mit dem Gyps einen festen Körper; es muß also bei dieser Verbindung auch Wärme frei werden. Daß dieß wirklich der Fall ist, wissen die Gypsgießer recht gut. Der pulverförmige Körper, den sie zum Gießen ihrer Figuren anwenden, ist der sogenannte gebrannte Gyps; er ist durch das Brennen seines Wassergehaltes beraubt worden. Dieses Pulver wird nun mit einer entsprechenden Menge Wasser angerührt und in die Form gegossen. In kurzer Zeit gesteht der ganze Brei zu einer festen Masse, die sich bedeutend erhitzt, wovon man sich schon durch Anfühlen mit der Hand überzeugen kann.

Eine ganz ähnliche Erscheinung findet statt, wenn man gebrannten Kalk mit Wasser übergießt. Auch mit dem Kalk verbindet sich das Wasser zu einem festen Körper, dem Kalkhydrat; indem es aber diese Verbindung eingeht, hört es auf flüssig zu seyn, und bei dem Uebergang in den festen Zustand wird Wärme frei, und so entsteht die bekannte, in diesem Falle sehr bedeutende Erhitzung.

So wie Wärme frei wird, also eine TemperaturErhöhung stattfindet, wenn Wasser sich mit einer andern Substanz zu einem festen Körper verbindet, so wird auch Wärme gebunden, es findet also eine Temperatur-Erniedrigung statt, sobald ein fester Körper durch Verbindung mit einem anderen flüssig wird, wie dieß z. B. bei der Auflösung von Salzen der Fall ist. Werfen Sie, damit die Auflösung rasch vor sich gehe, recht fein gepulverten Salpeter in's

Wasser, so wird eine durch das Thermometer wohl nachweisbare Temperaturerniedrigung stattfinden, namentlich wenn man mit größeren Quantitäten operirt.

Noch bedeutender ist die Temperaturerniedrigung durch Binden der Wärme, wenn zwei feste Körper sich zu einem flüssigen verbinden.

Bekanntlich liegt der Gefrierpunkt des Salzwassers tiefer als der des reinen Wassers; wenn also Schnee und Salz gemischt werden, so verbinden sie sich zu einem flüssigen Körper; hier werden zwei vorher feste Körper zugleich flüssig, indem Schnee und Salz eine Salzlösung geben, es muß also eine bedeutende Temperaturerniedrigung stattfinden.

Mischen Sie 3 Pfund Schnee von 0° mit 1 Pfund Kochsalz von derselben Temperatur, sorgen sie durch Umrühren der Masse für möglichst rasche Mischung, so wird alsbald die Temperatur von 0° auf 17° sinken. Es wird nämlich eine große Quantität Wärme verbraucht, um die beiden Körper flüssig zu machen; die zu dieser Schmelzung verbrauchte Wärmemenge wird aber für's Gefühl, für's Thermometer verschwunden seyn, daher die bedeutende Temperatursenkung, weil aus der Umgebung nicht so rasch die zu dieser Schmelzung nöthige Wärmemenge in die Masse übergehen kann.

Stellt man ein Gefäß mit Wasser in eine solche Kältemischung, so wird es alsbald gefrieren.

Gepulvertes Glaubersalz mit Salzsäure übergossen, bringt ebenfalls eine bedeutende Kälte hervor. Man benützt öfters solche Kältemischungen, um im Sommer Eis zu machen.

Zehnter Brief.

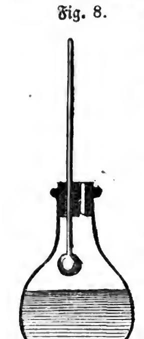
Von der Verdampfungswärme.

So wie beim Schmelzen, so wird auch beim Verdampfen Wärme gebunden, und wenn die zur Verdampfung nöthige Wärmemenge nicht rasch genug aus der Umgebung zugeführt werden kann, wie dieß der Fall ist, wenn man ein Gefäß mit Wasser auf das Feuer setzt, so findet bei rascher Verdampfung eine Temperaturerniedrigung statt. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle umwickelt, Wasser darauf tröpfelt und dann durch rasches Hin- und Herfahren in der Luft die Verdampfung beschleunigt. Das Thermometer wird sinken. Noch bedeutender sinkt es, wenn man statt des Was-

sers eine leicht verdampfende Flüssigkeit, etwa Weingeist, auf die Baumwolle tröpfelt. Wendet man zu diesem Versuche Schwefeläther an, den man in jeder Apotheke erhalten kann (es ist derjenige Bestandtheil der Hoffmannischen Tropfen, welchen diese ihren eigenthümlichen angenehmen Geruch verdanken; diese Tropfen bestehen aus Weingeist und Schwefeläther), so kann man leicht das Thermometer selbst bei warmer Luft unter 0° fallen machen.

In meinem vorigen Briefe habe ich Ihnen gezeigt, wie eine große Wärmemenge nöthig ist, um Schnee von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln. Ebenso muß beim Sieden dem Wasser eine große Quantität Wärme zugeführt werden, um das Wasser von 100° in Dampf von 100° zu verwandeln. Man kann dieß sehr einfach mit einem Glaskolben (Fig. 8.) zeigen, dessen Hals mit einem doppelt durchbohrten Kork verschlossen ist. In der einen Oeffnung steckt ein Thermometer, durch die andere kann der Dampf entweichen, welcher aus dem im Gefäß enthaltenen Wasser aufsteigt, wenn man dasselbe über einer Weingeistlampe in's Kochen bringt. Drückt man das Thermometer so weit hinab, daß die Kugel in's Wasser taucht, so zeigt es eine Temperatur von 100°; zieht man es aus dem Wasser hervor, wie Fig. 8., so daß es nur noch von Dampf umgeben ist, so findet man die Temperatur des Dampfes ebenfalls 100°. So lange das Kochen auch fortdauern mag, steigt die Temperatur nicht, das Wasser von 100° wird nur in Dampf von 100° verwandelt; die ganze Wärmemenge, welche während der ganzen Zeit dem Wasser zugeführt wird, bringt nur diese Verwandlung, aber durchaus keine Temparaturerhöhung hervor.

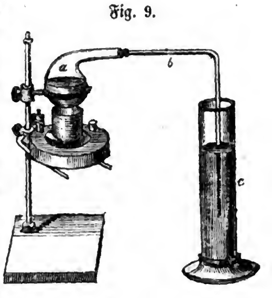
Fig. 8.



Dieser Versuch zeigt uns, wie viel Brennmaterial oft in unserer Küche unnöthig verschwendet wird. Um Fleisch zu kochen, muß es eine Zeitlang in siedendem Wasser liegen; es wird aber eben so schnell gar, wenn das Wasser nur schwach siedet, als wenn es heftig kocht; es hat in beiden Fällen dieselbe Temperatur, im letzteren Falle wird nur dem Wasser eine größere Wärmemenge zugeführt, welche es rascher in Dampf verwandelt, ohne seine Temperatur im mindesten zu erhöhen, ohne also das Garwerden des Fleisches im mindesten zu befördern; alle diese unnöthig zugeführte Wärme wird nur zur Dampfbildung verwendet, die uns hier nichts nützt.

Sie wissen aus den letzten Briefen, wie man die Wärmequantität bestimmen kann, welche zu Schmelzung von 1 Pfund Eis oder Schnee erforderlich ist; sehen wir nun, wie man die Wärmemenge bestimmt, welche zur Verdampfung von 1 Pfund Wasser nöthig ist.

Fig. 9.



In Fig. 9. stelle a eine gläserne Retorte dar, welche halb mit Wässer gefüllt über einer Weingeistlampe sich befindet; in den Hals der Retorte ist mittelst eines Korks ein rechtwinklig umgebogenes Glasrohr eingesteckt, durch welches die in a gebildeten Dämpfe in ein mit kaltem Wasser gefülltes Gefäß c geleitet werden. Sobald die Lampe unter a angezündet wird, dringen aus dem untern Ende des Rohres b Luftblasen hervor, welche durch das Wasser in c in die Höhe steigen. Bald aber ist alle Luft aus a vertrieben, es gehen nur noch Wasserdämpfe von a nach c über; sobald aber diese Wasserdämpfe mit dem kalten Wasser in c in Berührung kommen, werden sie alsbald wieder verdichtet, das Aufsteigen von Blasen in c hört also auf, sobald alle Luft aus a vertrieben ist; beim Verdichten der Dampfblasen in c entsteht ein eigenthümliches knatterndes Geräusch.

In a wird der Dampf gebildet, hier wird also Wärme gebunden, in c werden die Dämpfe wieder verdichtet, hier muß also die Wärme wieder frei werden, und durch diese freiwerdende Wärme wird die Temperatur des Wassers in c erhöht werden. In der That wird das Wasser in c wärmer und wärmer, bis es endlich die Temperatur des Siedpunktes erreicht hat; nun werden freilich die durch c herüberkommenden Dämpfe nicht mehr verdichtet, Dampfblasen steigen in die Höhe wie vorher die Luftblasen, die ganze Wassermasse in c ist im Zustand des Kochens. Sobald dieß eingetreten ist, muß der Versuch unterbrochen werden, was dadurch geschieht, daß man die Retorte a sammt dem Rohre b in die Höhe hebt und entfernt.

Das Wasser in c muß anfangs eine Temperatur von 0° haben. Vor dem Versuch muß die Höhe der Wassersäule in c gemessen werden, ich will annehmen, sie habe 11 Zoll betragen. Mißt man

nach Beendigung des Versuches diese Wassersäule wieder, so findet man, daß sie nun höher ist, sie wird nun 13 Zoll hoch seyn.

Es sind also 2 Zoll Wasser hinzugekommen. Dieses hinzugekommene Wasser wurde in a in Dampf von 100° verwandelt, es gieng als Dampf durch die Röhre b und wurde in c verdichtet. Zu Ende des Versuchs hat es noch die Temperatur von 100°; allein nicht allein dieß hinzugekommene Wasser hat die Temperatur von 100°, sondern die schon vorher vorhandenen 11 Zoll Wasser sind auch von 0° auf 100° erwärmt worden. Aus dem übergegangenen Dampf von 100° entstehen also 2 Zoll Wasser von 100°, bei dieser Verdichtung wird also so viel Wärme frei, daß dadurch 11 Zoll Wasser von 0° auf 100° erwärmt wurden.

Die in c hinzugekommene Wassermenge ist in a verdampft worden, die in c freigewordene Wärme wurde in a gebunden. Um also 2 Theile Wasser in a zu verdampfen, ist eine Wärmemenge gebunden worden, welche bei ihrem Freiwerden in c hinreichte, um 11 Theile Wasser von 0° bis 100° zu erwärmen, zur Verdampfung von 1 Pfund Wasser ist also ebensoviel Wärme nöthig, als um $5\frac{1}{2}$ Pfund Wasser von 0° bis 100° zu erwärmen.

Eilfter Brief.

Vom Freiwerden der Wärme bei der Verdichtung der Dämpfe.

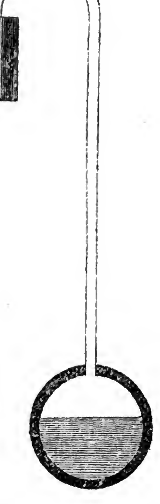
Das Freiwerden der Wärme durch Verdichtung der Dämpfe spielt in der Natur sowohl als auch im praktischen Leben eine bedeutende Rolle. Die Dämpfe, welche in der Blase eines Destillirapparates erzeugt und dann durch das Schlangenrohr des Kühlapparates hindurch geleitet werden, erleiden hier eine Verdichtung; dabei geben sie aber auch ihre gebundene Wärme wieder ab, wovon die bedeutende Erwärmung des Kühlwassers eine Folge ist. Damit die Destillation vollständig stattfinde, d. h. damit auch alle Dämpfe im Schlangenrohr wirklich verdichtet werden und sie nicht am offenen Ende dieses Rohres unverdichtet entweichen können, muß deßhalb das Kühlwasser beständig erneuert, d. h. das warme weggeschafft und durch kaltes ersetzt werden. Durch die Dämpfe wird hier die Wärme in das Kühlfaß gebracht: die Wärme die in der Blase gebunden wird, wird im Schlangenrohr des Kühlfasses wieder frei. Dieß würde auch der Fall seyn, wenn Blase und Kühlfaß sehr weit von einander entfernt wären, vorausgesetzt, daß das

Verbindungsrohr seiner ganzen Länge nach mit Stroh oder Tuch so umwickelt ist, daß nicht unterwegs schon die Dämpfe erkaltet und verdichtet werden.

Die Dämpfe sind demnach ein Mittel, um die Wärme, welche an einem Orte erzeugt wurde, an einem andern Orte wirken zu lassen und darauf beruht die Dampfheizung, die vor andern Heizungsmethoden jedenfalls den Vortheil der Reinlichkeit voraus hat.

Denken Sie sich in dem Keller eines Hauses einen Dampfkessel (Fig. 10.) angebracht, von welchem aus Dampfleitungsröhren nach allen zu heizenden Zimmern gehen. Es versteht sich von selbst, daß diese Dampfleitungsröhren dick mit schlechten Wärmeleitern umwickelt sind, damit in diesen Röhren noch keine oder doch eine möglichst geringe Abkühlung des Dampfes stattfinde. Durch diese Röhren strömt nun der Dampf in größere Cylinder von Blech, welche gleichsam den Ofen der zu heizenden Zimmer darstellen. Die Wände dieser Blechcylinder werden nämlich erwärmt und zwar vorzugsweise dadurch, daß der Dampf hier sich verdichtet, daß also hier die Wärme wieder frei wird, welche im Kessel gebunden worden ist. Es muß natürlich dafür gesorgt seyn, daß das in diesen Cylindern durch Verdichtung der Dämpfe gebildete Wasser abfließen könne.

Fig. 10.



Selbst in der Natur findet eine solche Uebertragung der Wärme durch Wässerdämpfe von einem Orte zum andern in einem großen Maaßstabe statt. Die Südwestwinde bringen uns die Wasserdämpfe, die in südlicheren Gegenden auf dem atlantischen Ocean durch Verdampfung des Wassers gebildet wurden. Dort wurde bei der Dampfbildung Wärme gebunden, diese Wärmebindung mäßigt also dort die Hitze. Wenn aber nun die mit Wasserdämpfen gesättigte Luft zu einer höheren Breite, also zu immer kältern Ländern kommt, so werden die Dämpfe nach und nach wieder verdichtet, Wolken und Regen bilden. Bei der Condensation der Dämpfe wird aber hier die Wärme wieder frei, die in großer Entfernung in wärmeren Gegenden ge-

bunden wurde. Die südwestlichen Regenwinde sind besonders deßhalb warme Winde, weil eben durch die Verdichtung der Wasserdämpfe die sie bringen, Wärme frei wird.

So sind die Wasserdämpfe gleichsam die Träger, welche die Wärme heißerer Himmelsstriche den Polen zutragen und so die sonst noch größere Ungleichheit verschiedener Klimate ausgleichen helfen.

Zwölfter Brief.

Von den Wärmequellen, namentlich der Verbrennungswärme.

Wir haben bisher nur die Wirkungen der Wärme beobachtet, ohne nach den Quellen der Wärme zu fragen, mit denen ich Sie in diesem Briefe zu unterhalten gedenke.

Die wichtigste Quelle der Wärme ist für uns die Sonne, welche durch ihre Strahlen zwei unschätzbare Güter, Wärme und Licht, auf die Erdoberfläche verbreitet; die Wärme, welche die erste Bedingung alles Lebens ist, weil ohne Wärme alle die Säfte, welche in Pflanzen und Thieren kreisen und ohne welche kein Wachsthum, kein Leben möglich ist, erstarren müssen; das Licht, welches das durch die Wärme so herrlich entfaltete Leben in der ganzen Natur in all seiner Großartigkeit und Mannigfaltigkeit unsern Blicken enthüllt.

Was aber ist die letzte Ursache der Sonnenwärme? Ist dieser ungeheure Feuerball, um welchen alle Planeten kreisen, ein glühender oder ein brennender Körper? Wodurch wird eigentlich die Sonnenwärme, welche Jahrtausende hindurch in ungeschwächter Kraft in alle Welten hin von der Sonne ausgestrahlt wird, erzeugt? Dieß sind Fragen, welche wir nicht beantworten können, Räthsel, welche der menschliche Geist wohl nie zu lösen im Stande seyn wird. Höchstens können wir darüber unsere Vermuthungen, unsere Meinungen aufstellen; es könnte wohl im Lauf der Zeit dem menschlichen Geiste gelingen, darüber Ansichten aufzustellen, welche zwar einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit erlangen, nie aber ganz gewiß werden können.

Auf der Erde selbst ist die Verbrennung die wichtigste Wärmequelle für uns; wir benützen die Verbrennung sowohl in unserem alltäglichen Leben als auch in den Gewerben, wenn es uns auf die Erzeugung einer höhern Temperatur ankommt; wir müssen deßhalb vor allen Dingen untersuchen, was die Verbrennung eigentlich sey.

Unsere atmosphärische Luft ist nicht eine einfache Gasart, sondern sie ist eine Mischung mehrerer Gase, von denen Stickstoffgas und Sauerstoffgas die wichtigsten sind. Die atmosphärische Luft besteht, wenn man die übrigen, ihrer Menge nach unbedeutenden Gase unberücksichtigt läßt, aus 5 Theilen Stickstoff und 1 Theil Sauerstoff.

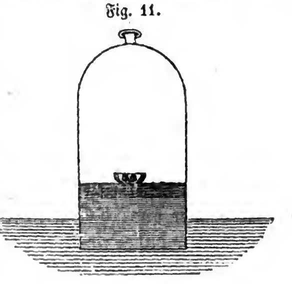
Der Sauerstoff verbindet sich nun mit andern Körpern bald mehr, bald weniger leicht, diese Verbindungen gehen bald allmählig, bald rasch unter Licht- und Wärmeentwicklung vor sich, und diese letztere Verbindungsweise ist es, welche man Verbrennung nennt.

Eisen, welches der Luft und der Feuchtigkeit ausgesetzt ist, rostet; dieser Rost ist nichts anders, als eine Verbindung von Eisen mit Sauerstoff. Auch andere Metalle, z. B. Zink, Kupfer, Zinn u. s. w. behalten, der Luft ausgesetzt, nicht lange ihren schönen metallischen Glanz, sie bekommen ein unscheinbares Ansehen, weil sich auf ihre Oberfläche allmälig eine Verbindung des Metalls mit Sauerstoff bildet, welche erst wieder weggeschafft werden muß, wenn der volle Metallglanz wieder hergestellt werden soll. Die edlen Metalle, Gold, Silber, Platin verbinden sich nicht so leicht mit Sauerstoff, sie behalten deßhalb leicht ihre reine metallische Oberfläche.

Ein Stück Phosphor verbindet sich, wenn es der Luft ausgesetzt wird, schon weit rascher mit Sauerstoff als die Metalle; berührt man den Phosphor aber mit einem nur etwas erhitzten Körper, z. B. mit einem erhitzten Glasstab, so geht die Verbindung unter lebhafter Feuererscheinung vor sich, es bildet sich ein weißer Qualm, und in einzelnen weißen Flocken, den Schneeflocken vergleichbar, fällt die Verbindung des Phosphors mit dem Sauerstoff, die Phosphorsäure, nieder.

Legt man einige Stückchen Phosphor auf ein Porzellanschälchen, welches auf Wasser schwimmt, entzündet man den Phosphor und stülpt man dann rasch eine Glasglocke darüber, wie es Fig. 11. angedeutet ist, so dauert die Verbrennung nicht lange fort; der Phosphor erlischt, ehe er ganz verbrannt ist; die Verbrennung muß nämlich aufhören, sobald aller Sauerstoff, welcher in der Luft unter der Glasglocke enthalten war, verzehrt ist, d. h. bis all dieser Sauerstoff sich mit Phosphor

Fig. 11.



verbunden hat. Die Verbrennung hört auf, weil kein Sauerstoff mehr vorhanden ist, mit welchem sich der Phosphor verbinden könnte.

Nach beendigtem Versuch beobachtet man, daß das Wasser unter der Glocke höher steht als aussen, daß die Menge des Gases unter der Glocke geringer geworden ist; dieß kommt daher, weil sich der Sauerstoff unter der Glocke mit dem Phosphor zu einem festen Körper verbunden hat, also nicht mehr in gasförmigem Zustande vorhanden ist. Die Luft unter der Glocke besteht fast nur noch aus Stickstoff.

Bei der Verbrennung des Phosphors ist das Produkt der Verbrennung ein fester Körper; es ist dieß jedoch nicht immer der Fall, bei andern Verbrennungen ist das Produkt der Verbrennung bald ein tropfbar flüssiger, bald ein gasförmiger Körper.

Beobachtet man eine brennende Wachskerze, so sieht man, daß sie mehr und mehr herabbrennt, ohne daß man sieht, wo die Produkte der Verbrennung hinkommen. Die Kerze scheint während der Verbrennung ganz zu verschwinden. Es rührt dieß aber nur daher, daß die Produkte der Verbrennung, d. h. die Verbindung des verbrannten Körpers mit Sauerstoff luftförmige Körper sind, sich also in der Luft verbreiten, ohne dem Auge sichtbar zu seyn.

Die meisten Brennmateriale, deren wir uns bedienen, z. B. Holz, Talg, Wachs, Oel, Weingeist, sind vorzugsweise aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt, zwei Körper, welche bei ihrer Verbrennung viel Wärme entwickeln; wir wollen diese beiden Stoffe und ihre Verbrennungsprodukte zuerst einzeln betrachten.

Der Kohlenstoff ist in der Natur sehr verbreitet und rein, d. h. ohne Verbindung mit andern Körpern kommt er in sehr verschiedenen Formen vor. Der Diamant ist reiner Kohlenstoff, ebenso der Graphit, der färbende Stoff unserer Bleistifte. Die Holzkohle ist gleichfalls fast reiner Kohlenstoff, er ist nur noch mit einigen erdigen Substanzen vermischt, welche nach der Verbrennung der Kohle als Asche zurückbleiben. Bei der Verbrennung des Kohlenstoffs bildet sich Kohlensäure, ein luftförmiger Körper, welchen wir in der Natur in den mannigfachsten Verbindungen finden. Die Kohlensäure ist nämlich das Gas, welches in Sauerwasser enthalten ihm seinen säuerlichen Geschmack gibt und beim Aufbrausen desselben in Bläschen entweicht; die Kohlensäure ist in Champagner und allen moussirenden Flüssigkeiten enthalten. Die Kohlensäure bildet einen Bestandtheil des Kalksteins, welcher aus reinem Kalk und aus Kohlensäure besteht. Durch starke Erhitzung

des Kalksteins wird die Kohlensäure ausgetrieben und es bleibt der reine Kalk, der sogenannte gebrannte Kalk übrig. Uebergießt man den Kalkstein mit einer etwas starken Säure, z. B. mit Salzsäure, mit Schwefelsäure u. s. w., so entsteht ein heftiges Aufbrausen, die stärkere Säure verbindet sich nämlich mit dem Kalk und die Kohlensäure entweicht als Gas in zahllosen Blasen in der Flüssigkeit aufsteigend.

Solche Kohlensäure bildet sich nun, wenn sich Kohle mit Sauerstoff verbindet; eine rasche Verbindung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff nennen wir eine Verbrennung. Die Verbrennung der Kohle geht wie die Verbrennung des Phosphors unter lebhafter Licht- und Wärmeentwicklung vor sich.

Dreizehnter Brief.

Von der Verbrennungswärme und der thierischen Wärme.

Wasserstoff ist ein gasförmiger Körper, welcher in der Natur nicht rein, wohl aber in zahlreichen Verbindungen vorkommt und auf diese Weise sehr verbreitet ist, denn er ist ein Bestandtheil des Wassers, welches aus Sauerstoff und Wasserstoff besteht. Das Wasserstoffgas ist dasjenige Gas, welches in den Zündmaschinen enthalten ist und bei Oeffnung des Hahnens durch eine feine Oeffnung gegen ein Platinschwämmchen ausströmend sich an demselben entzündet.

Einmal angezündet brennt das aus der feinen Oeffnung ausströmende Wasserstoffgas mit schwach leuchtender, aber sehr heißer Flamme fort. Daß das Produkt dieser Verbrennung Wasser ist, läßt sich leicht dadurch zeigen, daß man eine Glasglocke über die Flamme hält. Diese Glasglocke beschlägt sich dicht mit Wassertropfen. Es bilden sich also durch die Verbindung der beiden Gase, nämlich des Wasserstoffgases mit dem Sauerstoffgas Wasserdämpfe, die sich alsbald verdichten und an die Glaswände ansetzen.

Wir haben bisher nur die einfachen Brennstoffe betrachtet. Wenn zusammengesetzte Stoffe verbrennen, so ist der Vorgang ein ganz ähnlicher. Die meisten Brennstoffe bestehen, wie schon erwähnt wurde, vorzugsweise aus Kohlenstoff und Wasserstoff, bei der vollständigen Verbrennung bildet sich also Kohlensäure und Wasser.

Da die Verbrennung eines Körpers darin besteht, daß er den Sauerstoff aus der Luft aufnimmt, so ist eine wesentliche Bedingung zur vollständigen Verbrennung, daß immer neue Luft ungehindert

dem zu verbrennenden Körper zugeführt werden kann. Der Abschluß der Luft bringt einen brennenden Körper bald zum Verlöschen.

Wo es uns darauf ankommt, eine lebhafte Verbrennung zu bewerkstelligen, muß man also für einen lebhaften Luftzutritt sorgen, damit dem brennenden Körper stets die zur Unterhaltung der Verbrennung nöthige Menge Sauerstoff zugeführt wird. Dieß erreichen wir bei vielen unserer Feuerungsanlagen durch den Schornstein. Die Luft im Schornstein ist nämlich durch das Feuer erwärmt und deßhalb leichter als die äußere kalte Luft, die warme Luft steigt im Schornstein in die Höhe und veranlaßt dadurch, daß von unten her durch den Rost frische Luft dem Brennmaterial zugeführt wird. Man halte nun einen brennenden Körper oder ein brennendes Stück Papier vor die untere Thüre eines Ofens, so wird man einen lebhaften Luftzug durch diese Thüre nach dem Feuer hin wahrnehmen.

Auch bei unsern Beleuchtungsapparaten bringen wir schornsteinartige Vorrichtungen an, um die Lebhaftigkeit der Verbrennung zu steigern, denn die Glascylinder, welche wir auf unsere Lampen aufsetzen, sind nichts anders als kleine Schornsteine. Durch das rasche Aufsteigen der erwärmten Luft im Glascylinder wird das Zuströmen frischer Luft zur Flamme bedingt. Bei den argandschen Lampen, welche einen runden hohlen Docht haben, bildet auch die Flamme einen hohlen Cylinder und die frische Luft strömt nicht allein von aussen her, sondern auch auf der innern Seite dieses hohlen Cylinders der Flamme zu und daher rührt besonders die lebhafte Lichtentwicklung.

Will man auf einem kleinen Raum eine möglichst große Hitze erzeugen, wie z. B. in Schmieden, so reicht der Schornstein nicht mehr aus, man wendet alsdann Blasbälge oder andere Gebläse an, um an die Verbrennungsstelle möglichst viel frische Luft hinzuführen.

Durch sorgfältige Versuche mehrerer Gelehrten ist ermittelt worden,

daß durch die vollständige Verbrennung von 1 Pfd.	so viel Wärme erzeugt wird, daß dadurch die Temperatur von 500 Pfd. Wasser um
Kohle	7°
Wachs	10°
Talg	8°
Weingeist	6°
trockenes Holz	4°

erhöht werden kann.

Eine höchst merkwürdige Uebereinstimmung finden wir zwischen der Verbrennung und dem Athmungsprozeß. In einem abgesperrten Raume wird ein brennender Körper verlöschen, sobald aller Sauerstoff verzehrt ist; ein Thier erstickt in einem völlig von der äußeren Luft abgesperrten Raum nach kurzer Zeit und wenn man die Luft des abgesperrten Raumes untersucht, so findet man, daß ihr Sauerstoff verschwunden und durch Kohlensäure ersetzt ist. Durch den Athmungsprozeß ist also gerade wie durch die Verbrennung von Kohle der Sauerstoff der Luft in Kohlensäure umgewandelt worden; statt des Sauerstoffs, welchen wir in der atmosphärischen Luft einathmen, hauchen wir eine Kohlensäurehaltige Luft aus, es muß also hier in unserem Körper ein der Verbrennung der Kohle ganz ähnlicher Prozeß vor sich gehen, d. h. es muß sich der Sauerstoff der eingeathmeten Luft in unserm Körper mit Kohlenstoff verbinden, wodurch die Kohlensäure erzeugt wird, die wir aushauchen.

Der einzige Unterschied zwischen dem Verbrennungs- und Athmungsprozeß ist der, daß bei der Verbrennung die Verbindung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff weit rascher vor sich geht, als bei dem Athmungsprozeß, den wir eine langsame Verbrennung nennen können.

Wenn 1 Pfund Kohlenstoff sich mit Sauerstoff verbindet, so wird stets dieselbe Wärmemenge erzeugt, mag nun die Verbrennung schnell oder mag sie langsam vor sich gehen; im ersteren Falle wird aber am Ort der Verbrennung eine sehr starke Temperaturerhöhung, weil die in so kurzer Zeit entwickelte Wärmemenge auf einen kleinen Raum concentrirt bleibt, weil sie sich so schnell nicht in die Umgebung verbreiten kann. Geht hingegen die Verbrennung langsam vor sich, so hat die Wärme während der langsamen Verbrennung Zeit, sich auf einen größern Raum zu verbreiten; es wird also, da sich dieselbe Wärmemenge über einen größeren Raum verbreitet, der Grad der Erwärmung ein geringerer seyn.

Man sieht demnach leicht ein, wie die in unserm Körper vor sich gehende langsame Verbrennung von Kohlenstoff die Quelle unserer Körperwärme seyn kann.

In der That ist der menschliche Körper, sowie der aller warmblütigen Thiere einem Ofen zu vergleichen. Der Ofen ist wärmer als seine Umgebungen, er gibt also beständig Wärme an dieselben ab und dieser Wärmeverlust wird durch die in seinem Innern stattfindende Verbrennung wieder ersetzt. Der Körper der Menschen,

der Säugethiere und Vögel ist gleichfalls wärmer als die Luft, in welcher sie leben, sie geben also beständig Wärme an ihre Umgebung ab, und die beständige höhere Temperatur des Körpers wird nur durch die in seinem Innern vor sich gehende langsame Verbrennung erhalten.

Es ist in der That ein merkwürdiges Factum, daß die Blutwärme des Menschen fast immer genau dieselbe ist; sie ist bis auf sehr geringe Schwankung dieselbe bei Menschen verschiedenen Alters und Geschlechtes, sie ist dieselbe bei den Bewohnern der heißen Sandwüsten Afrika's und den Bewohnern von Sibirien; sie ist im Durchschnitt $29^1/_2{}^0$ Reaumür.

Bringt man die Kugel eines Thermometers unter die Zunge, so wird es auf die Temperatur von $29^1/_2{}^0$ steigen, wenn man es lange genug daselbst läßt, damit es die Temperatur dieser Stelle des Körpers annehmen kann. Stellt man den Versuch bei verschiedenen Individuen an, so wird man höchstens Differenzen von Bruchtheilen eines Grades finden (vorausgesetzt, daß das Thermometer genau ist).

Die Blutwärme der Säugethiere ist im Durchschnitt der der Menschen gleich, das Blut der Vögel ist etwas wärmer.

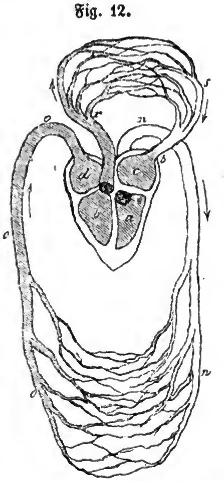
Um nun den Vorgang der langsamen Verbrennung im Körper richtig verstehen zu können, muß ich Ihnen jetzt vor allen Dingen wenigstens das Wichtigste über die Circulation des Blutes im menschlichen Körper auseinandersetzen.

Betrachten wir zunächst das Herz, welches die bewegende Kraft für das den Körper durchströmende Blut liefert. — Das Herz, das Pumpwerk, welches das Blut durch das Röhrensystem der Adern treibt, ist durch eine vollständige Scheidewand in eine rechte und linke Hälfte getheilt, welche in gar keiner Verbindung mit einander stehen; jede Hälfte des Herzens ist aber wieder in einen Vorhof und eine Herzkammer getrennt; zwischen Vorhof und Herzkammer besteht aber keine absolute Trennung, sondern in der Scheidewand, welche sich zwischen ihnen befindet, ist eine klappenartige Vorrichtung angebracht, welche sich in der Richtung vom Vorhof nach der Herzkammer hin öffnen kann, so daß das Blut aus dem Vorhof in die Herzkammer treten, aber nicht aus der Herzkammer in den Vorhof zurückgehen kann, weil das Klappenventil in dieser Richtung den Durchgang nicht gestattet.

In Fig. 12. ist d der rechte, c der linke Vorhof, b die rechte und a die linke Herzkammer. Das Herz ist von starken Muskeln

umgeben, durch welche es kräftig zusammengedrückt und wieder ausgedehnt wird. Die beiden Herzkammern ziehen sich gleichzeitig zusammen, während die beiden Vorhöfe sich ausdehnen; dann ziehen sich die Vorhöfe zusammen, während sich gleichzeitig die beiden Herzkammern wieder erweitern.

Fig. 12.



Durch diese Bewegungen wird das Blut aus den Herzkammern in die Schlagadern (Arterien) fortgetrieben und aus den Blutadern (Venen) in die Vorhöfe eingesaugt, aus denen es bei der Contraction der Vorhöfe durch die Klappen in die Herzkammern tritt.

Es sind jedoch zwei große Wege, die das Blut auf diese Weise durchläuft. Einmal wird das Blut von der linken Herzkammer durch die Schlagadern nach allen Theilen des Körpers hingetrieben; die anfangs sehr starken Schlagadern verästeln sich in ihrem Verlaufe mehr und mehr, bis sie endlich in ganz feinen capillaren Blutgefäßchen endigen. Diese feinen Gefäßchen vereinigen sich alsdann wieder wie Bäche, die durch ihre Vereinigung Flüsse bilden zu den Blutadern, die in ihrem Verlaufe sich mehr und mehr zu größeren vereinigen und in denen endlich das Blut zum rechten Vorhof des Herzens zurückkehrt.

Es ist dieß in Fig. 12. durch eine schematische Zeichnung versinnlicht; das Blut der linken Herzkammer a wird durch die Körperschlagadern n bis in deren feinste Verzweigungen getrieben wird; aus diesen kehrt dann das Blut durch die Blutadern o in das Herz und zwar in die rechte Vorkammer d zurück.

Diese Circulation von der linken Herzkammer durch den ganzen Körper zu der rechten Vorkammer heißt der große Kreislauf.

Aus dem Vorhof d tritt das Blut in die rechte Herzkammer b, aus welcher es durch die Lungenschlagadern r in die feinen Gefässe der Lungen tritt, aus denen es durch die Lungenblutadern s in den linken Vorhof c tritt. Dieß ist der Lungen- oder der kleine Kreislauf.

Betrachtet man das Blut an verschiedenen Stellen des großen Kreislaufs, so findet man, daß es nicht überall dasselbe Aussehen

hat; in den Schlagadern ist es hellroth; in den Capillargefäßen, durch welche das Blut aus den Schlagadern in die Blutadern übergeht, verliert es dieses Ansehen und wird dunkelroth; das dunkelrothe Blut tritt nun in den rechten Vorhof, aus diesem in die rechte Herzkammer, aus der es durch die Lungenschlagadern in die feinen Gefäße der Lunge getrieben wird, wo es seine hellrothe Farbe wieder erlangt, und so als hellrothe Flüssigkeit zum linken Vorhof zurückkehrt.

Um diesen Unterschied in der Farbe des Blutes in der Zeichnung anzudeuten, sind diejenigen Adern, in denen sich das dunkelrothe Blut bewegt, schattirt, die Adern aber, welche von hellrothem Blut durchströmt werden, dagegen nicht schattirt.

Die linke Hälfte des Herzens wird nur von hellrothem, die rechte nur von dunkelrothem Blut durchströmt.

Vierzehnter Brief.

Quelle der thierischen Wärme.

Die Farbeveränderung, welche das Blut in den Lungen und in den feinen Gefäßen des großen Kreislaufs erleidet, deutet auf eine chemische Veränderung hin, und so ist es auch in der That. Das venöse dunkelrothe Blut kommt in den Lungen mit dem Sauerstoff der eingeathmeten Luft in Berührung; dieser Sauerstoff wird zunächst absorbirt, wodurch das Blut seine Farbe erhält; in dem Blute durch den Körper fortgeführt, kommt der Sauerstoff mit dem Kohlenstoff in Berührung, welcher von den Verdauungsorganen dem Blute zugeführt wird; durch Verbindung des Kohlenstoffs mit dem im Blute enthaltenen Sauerstoff wird Kohlensäure gebildet, die nun mit dem Blute fortgeführt wird, wie vorher der Sauerstoff; das Blut aber, welches statt des Sauerstoffs jetzt Kohlensäure absorbirt enthält, hat eine dunkelrothe Farbe. Diese Umwandlung des Blutes geht vorzugsweise in den capillaren Gefäßen des großen Kreislaufs vor sich, denn vor der feinen Verästelung ist das Blut noch hellroth, jenseits aber finden wir in den Blutadern alsbald dunkelrothes Blut. Sobald nun das dunkelrothe Blut in den Lungen mit der Luft in Berührung kommt, wird die Kohlensäure frei, sie wird ausgeathmet, während dagegen Sauerstoff vom Blute aufgenommen wird.

So geht denn fortwährend in dem ganzen Körper eine Verbindung

von Sauerstoff mit Kohlenstoff, also eine langsame Verbrennung vor sich, durch welche die Körperwärme erzeugt und erhalten wird.

Um einen Ofen auf einer beständigen Temperatur zu erhalten, welche höher ist als die der Umgebung, müssen wir immer neues Brennmaterial einlegen, damit die Verbrennung fortdauern könne; ebenso muß dem thierischen Körper gleichsam Brennmaterial zugeführt werden. Die Speisen, die wir genießen, sind dem Holze zu vergleichen, welches man in den Ofen wirft. Die aus den Speisen durch die Verdauung bereiteten Stoffe werden von dem Blute aufgenommen und an die verschiedenen Stellen des Körpers geführt, wo sie sich theilweise absetzen, also zur Ernährung des Körpers dienen, theilweise aber sich mit dem im Blute absorbirten Sauerstoff verbinden und dadurch die Körperwärme erzeugen.

Es sind vorzugsweise die kohlenstoffhaltigen Speisen, welche zur Erhaltung der thierischen Wärme nöthig sind, denn sie liefern den Kohlenstoff, welcher im Blute langsam verbrannt wird.

In einer kälteren Umgebung muß der menschliche Körper in gleicher Zeit mehr Wärme abgeben, da die Blutwärme ja stets dieselbe bleibt; in kälterer Umgebung muß also eine lebhaftere Verbrennung des Kohlenstoffs im Körper vor sich gehen, es muß also auch dem Körper mehr Kohlenstoff zugeführt werden. Daher kommt es, daß der Nordländer im Allgemeinen mehr ißt, als der Bewohner wärmerer Gegenden, daß er mehr spirituose Getränke zu sich nimmt. Fett ist eine vorzugsweise kohlenstoffhaltige Substanz, und in der That genießt der Lappländer ungeheure Mengen von Fett. Mit dem größten Appetit trinkt er Thran, mit dem größten Appetit verschlingt er mehrere Talglichter, vor denen uns schon eckeln würde.

Der Unterschied würde noch bedeutender seyn, wenn nicht die Bewohner kalter Gegenden nicht durch warmhaltende Bekleidung die Abkühlung des Körpers möglichst zu verhindern suchten. Die Art und Weise, wie die Kleider wirken, um die Wärme zusammenzuhalten, werde ich Ihnen bei Besprechung der Wärmeleitungsfähigkeit auseinandersetzen. Soviel ist gewiß, daß wir in kalter Umgebung um so mehr Speise bedürfen, je weniger warm wir gekleidet sind.

Sie werden wohl fragen, wo denn all die Kohlensäure hinkomme, welche durch den Athmungsprozeß zahlloser Thiere durch die Masse von Verbrennungen erzeugt wird, die überall vor sich gehen? In der That finden wir nur verhältnißmäßig wenig Kohlensäure in

der Atmosphäre und die Menge derselben mehrt sich nicht, wie man wohl in Erwähnung der beständig fortdauernden ungeheuren Kohlensäure-Erzeugung meinen sollte. Wie kommt es, daß im Laufe der Jahrhunderte schon längst aller Sauerstoff der Luft verzehrt und in Kohlensäure verwandelt worden ist?

Die Kohlensäure, welche die Thiere ausathmen, dient den Pflanzen zur Nahrung. Durch alle Poren der Blätter und Stengel saugen die Pflanzen Kohlensäure ein; diese Kohlensäure wird durch den Lebensprozeß der Pflanzen zersetzt, der Kohlenstoff wird assimilirt, der Sauerstoff wird wieder der Luft zurückgegeben; der Lebensproceß der Pflanzen erzeugt also den Sauerstoff, der den Athmungsprozeß der Thiere unterhält; der Athmungsprozeß der Thiere liefert die Kohlensäure, welche zur Ernährung der Pflanzen dient.

Wenn man einen frischen grünen Zweig unter eine mit kohlensäurehaltigem Wasser gefüllte Glasglocke bringt, so entwickeln sich alsbald zahlreiche Bläschen an den Blättern, welche in den obern Theil der Glasglocke aufsteigen. Das hier gesammelte Gas ist Sauerstoffgas. — Diese Gasentwickelung hört auf, sobald dem Wasser alle Kohlensäure entzogen ist; auch findet sie nicht im Dunkeln statt, woraus hervorgeht, daß die Zersetzung der Kohlensäure und die Ausscheidung des Kohlenstoffs durch die Pflanzen nur unter dem Einfluß des Lichtes stattfinden, und so erklärt sich der bedeutende Einfluß, welchen das Licht auf die Vegetation ausübt.

Fünfzehnter Brief.

Wärmeleitung.

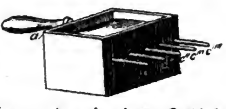
Ein Schwefelholz, welches an einem Ende brennt, kann man am andern Ende in der Hand halten, ohne eine Temperaturerhöhung zu fühlen; macht man aber ein gleichlanges und gleichdickes Eisenstäbchen an einem Ende glühend, so wird es am andern Ende so heiß seyn, daß man es nicht ungestraft anfassen kann. Bei gleicher Temperatur am einen Ende ist das andere Ende kalt beim Holz, heiß beim Eisen. Woher kommt dieser Unterschied? Einzig und allein daher, daß das Eisen die Wärme sehr gut fortleitet, daß die Wärme, welche dem Eisen auf der einen Seite mitgetheilt wird, sich rasch durch seine ganze Masse hindurch verbreitet, während dieß beim Holz nicht der Fall ist; durch die Masse des Holzes verbreitet sich

die Wärme nicht so leicht. Die Griffe der Ofenthüren versieht man deßhalb mit einem hölzernen Knopf; ein metallner würde in Berührung mit der heißen Ofenthüre die Wärme zu leicht in sich aufnehmen und zu heiß werden.

Diese einfache Wahrnehmung lehrt uns schon den Unterschied zwischen guten und schlechten Wärmeleitern kennen. Das Eisen ist ein guter, das Holz ist ein schlechter Wärmeleiter.

Um die ungleiche Leitungsfähigkeit verschiedener Substanzen anschaulich zu machen, ist der in Fig. 14. abgebildete Apparat sehr geeignet. In der Seitenwand eines Kastens von Blech sind mehrere aus den zu vergleichenden Substanzen verfertigte Stäbchen eingesteckt, welche sämmtlich gleichen Durchmesser haben und mit einer Schicht von Wachs überzogen sind. Wenn man nun kochendes Wasser oder heißes Oel in den Kasten gießt, so wird die Wärme mehr oder weniger rasch in den Stäbchen sich verbreiten und den Wachsüberzug schmelzen.

Fig. 14.



Sind die eingesteckten Stäbchen von Kupfer, Eisen, Blei, Glas und Holz, so wird die Wachsschicht des Kupferstäbchens schon vollständig bis an's Ende geschmolzen seyn, während bei allen andern die Schmelzung noch nicht soweit vorgeschritten ist. Nach dem Kupferstab zeigt sich am Eisenstab die Schmelzung am weitesten fortgeschritten, dann am Bleistab. Auf dem Glasstab ist das Wachs nur auf eine unbedeutende Strecke fortgeschmolzen, am Holzstäbchen kaum der Anfang einer Schmelzung wahrzunehmen, während sie auf dem Kupferstab dessen Ende schon erreicht hat.

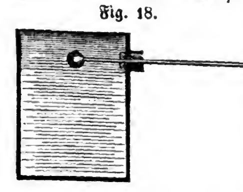
Unter allen Körpern sind die Metalle die besten Wärmeleiter. Glas, Porzellan, Steine, Holz sind ziemlich schlechte, Asche, Seide, Haare, Stroh, Wolle u. s. w., überhaupt die lockern Körper aber die schlechtesten Wärmeleiter.

Wasser ist, wie alle Flüssigkeiten, ein sehr schlechter Wärmeleiter. Zwar hält es nicht schwer, das Wasser in einem Gefäß von unten her zu erwärmen, dieß hat aber darin seinen Grund, daß die am Boden erwärmten Wassertheilchen, welche leichter sind als die kalten Wasserschichten, alsbald in die Höhe steigen, wodurch von Neuem kaltes Wasser mit den heißen Bodenflächen in Berührung kommt. Wollte man das Wasser in einem Gefäß von Oben her erwärmen, so würde man seinen Zweck nicht sobald erreichen; wie schlecht das

Wasser die Wärme leitet, davon können Sie sich leicht durch folgenden Versuch überzeugen.

Lassen Sie sich einen Blechcylinder von ungefähr 4 Zoll Durchmesser und 4 Zoll Höhe machen, welcher seitwärts eine Oeffnung hat, durch welche man mittelst eines Schiebers ein Thermometer in horizontaler Richtung einstecken kann. Gießen Sie nun Wasser in das Gefäß, so daß es ungefähr 1 Linie hoch über die Thermometerkugel hinausgeht; auf dieses Wasser gießen Sie alsdann Weingeist und zünden Sie diesen an; der Weingeist kann lange Zeit fortbrennen, ehe man ein Steigen des Thermometers wahrnimmt.

Fig. 18.



Mit der Luft verhält es sich ähnlich wie mit den Flüssigkeiten, d. h. die Wärme verbreitet sich in der Luft durch blose Leitung nur sehr langsam, doch wird die Verbreitung der Wärme in der Luft häufig durch Strömungen vermittelt, welche die kalten und warmen Luftschichten durcheinander mischen; Stroh, Wolle u. s. w. sind wahrscheinlich eben deßhalb so schlechte Wärmeleiter, weil sie in ihren Zwischenräumen Luft enthalten, welche die leichtere Verbreitung der Wärme hindert.

Der Vortheil, welchen doppelte Fenster und Thüren gewähren, erklärt sich durch die schlechte Leitungsfähigkeit der Luft.

Wenn wir sagen: unsre Kleider halten warm, so heißt das eigentlich nur, daß sie als schlechte Wärmeleiter den leichten Durchgang der Körperwärme verhindern. Die Kleider, welche wir warm nennen, sind durchaus nicht als Wärmequellen anzusehen, sie halten bloß die Wärme zusammen. Man umwickelt des Winters zarte Pflanzen mit Stroh, damit sie nicht erfrieren, damit die Wärme, die sie noch besitzen, nicht in die kalte Umgebung sich verbreiten könne. Aus demselben Grunde bedecken wir im Winter unsere Kellerlöcher mit Stroh u. s. w.

Ein Beweis dafür, daß die Wirkung des Strohes in diesem Falle einzig und allein darin besteht, daß es den Durchgang der Wärme verhindert, liegt darin, daß man das Stroh in gleicher Weise benutzt, um die Wände der Eiskeller damit zu bedecken; es hindert hier das Eindringen der Wärme von dem umgebenden Boden in das Eis.

Wenn man ein Stück Eisen und ein Stück Holz, welche beide längere Zeit zusammen im Kalten gelegen haben, angreift, so findet

man das Eisen sehr kalt, das Holz nicht, und doch haben beide vollkommen gleiche Temperatur! Der Grund davon liegt nur in der ungleichen Leitungsfähigkeit beider Substanzen. Das Eisen nimmt die Wärme der Hand rasch auf, es entzieht der Hand vermöge seiner guten Leitungsfähigkeit in kurzer Zeit eine bedeutende Menge Wärme, daher das Gefühl von Kälte. Das Holz nimmt die Wärme nicht so schnell aus der Hand auf, es entzieht ihr weniger Wärme, wir fühlen also auch keine so starke Erkaltung.

Wenn wir Wasser in einem irdenen und in einem metallenen Geschirr auf's Feuer setzen, so wird das Wasser im metallenen Gefäß weit eher heiß als das im irdenen, weil die Metallwand die Wärme leichter durchläßt. An Orten, wo man ein kalkhaltiges Wasser hat, setzt sich an den Wänden der metallenen Kessel ein weißer harter Niederschlag ab, welcher im gewöhnlichen Leben oft irrthümlicher Weise „Salpeter" genannt wird. Es ist dieß eine Kalkkruste, welche sich an die Wände des Gefässes festsetzt. Diese Kruste ist ein schlechter Wärmeleiter, sie verzögert also das Kochen des Wassers in solchen Gefässen um so mehr, je dicker sie ist, woraus sich die Nothwendigkeit ergibt, die Gefäße öfters zu reinigen, um diesen Pfannenstein zu entfernen. Bei Dampfkesseln ist die Bildung des Pfannensteins ebenfalls ein großer Uebelstand und macht eine öftere Reinigung derselben nöthig.

Sechszehnter Brief.

Von der Wärmestrahlung.

Nachdem wir die Gesetze der Wärmeleitung besprochen haben, werden Sie wohl fragen: auf welchem Wege gelangt denn die Wärme von der Sonne auf unsere Erde? Wo ist denn der Wärmeleiter, durch welchen sich die Sonnenwärme allmählig bis zu unserer Erde fortpflanzt? Einen solchen Wärmeleiter gibt es nun zwischen uns und der Sonne nicht, die Sonnenwärme gelangt zu uns nicht durch Leitung, sondern durch Strahlung!

Wenn die Wärme durch Leitung zu uns käme, so müßte es um so wärmer werden, je mehr wir uns der Sonne nähern; es wäre kein Grund einzusehen, warum es auf hohen Bergen kälter seyn sollte als im Thal. Der Umstand aber, daß in den höheren Luftregionen nur eine sehr niedrige Temperatur herrscht, beweist uns schon, daß die Wärme von der Sonne nicht in der Weise zu uns

kommt, wie sie in einem Stück Eisen von dem erhitzten Ende zum andern wandert.

In der That sendet jeder warme Körper Wärmestrahlen nach allen Seiten ganz in der Weise aus, wie ein leuchtender Körper Lichtstrahlen aussendet.

Wenn man sich einem lebhaften Kohlenfeuer nähert, so fühlt man eine brennende Hitze im Gesicht, welche augenblicklich verschwindet, sobald man einen Schirm, etwa nur ein Blatt Papier vor das Gesicht hält. — Daraus geht hervor, daß nicht die ganze Luftmasse zwischen dem Feuer und dem Gesichte bis zu dem hohen Grade erwärmt ist, den wir fühlen. Wenn in einem kalten Zimmer der eiserne Ofen angeheizt wird, so beginnen schon sehr bald die Fensterscheiben zu schmelzen, während die Luft in Zimmern noch ganz kalt und namentlich in der Nähe der Fenster noch unter dem Gefrierpunkt ist. Die Wärmestrahlen durchdringen also die Luft, ohne sie zu erwärmen.

So kommen auch die Wärmestrahlen der Sonne zu uns. Sie erwärmen den Erdboden den sie treffen, sie lassen aber die Luftschichten kalt, die sie durchwandern. Die Atmosphäre wird nicht direct durch die Wirkung der Sonnenstrahlen, sondern von unten her durch den erhitzten Boden erwärmt.

Die Wärmestrahlen an und für sich haben noch keine fühlbare Wärme; erst wenn sie von einem Körper aufgefangt, absorbirt werden, bringen sie in ihm fühlbare Wärme hervor. Ein Körper, welcher, wie die Luft, für die Wärmestrahlen das ist was ein durchsichtiger Körper für das Licht, läßt die Wärmestrahlen durch sich durchgehen, ohne seine Temperatur zu erhöhen.

Nicht alle festen Körper haben gleiche Fähigkeit die Wärmestrahlen zu verschlucken und sich in Folge dessen zu erwärmen. Ein glänzender Metallspiegel reflectirt die Wärmestrahlen wie die Lichtstrahlen, er verschluckt sie nicht. Die Wärmestrahlen werden von allen glänzenden Flächen reflectirt; ein polirter Körper wird also, den Sonnenstrahlen ausgesetzt, sich nicht so stark erwärmen wie ein solcher, welcher eine rauhe Oberfläche hat. Je rauher oder vielmehr je feiner vertheilt die Oberfläche eines Körpers ist, desto geeigneter ist sie im Allgemeinen, um Wärmestrahlen zu verschlucken.

Unter allen Körpern verschluckt wohl keiner die Wärmestrahlen besser als Ruß. Ueberzieht man die Kugel eines Thermometers mit Ruß, setzt man dieses Thermometer mit einem andern nicht berußten den Sonnenstrahlen aus, so wird das berußte Thermo-

meter weit höher steigen als das andere, von dessen glänzender Kugel die Wärmestrahlen meist zurückgeworfen und nicht absorbirt werden.

Im Allgemeinen haben alle dunklen lockern Körper, z. B. auch die Holzkohle, ein sehr starkes Absorptionsvermögen für die Wärmestrahlen.

In manchen Gebirgsgegenden, in denen der Schnee lange auf den Feldern liegen bleibt und die Aussaat zu sehr verzögert, streut man Kohlenpulver auf den Schnee, welches seine alsbaldige Schmelzung veranlaßt. Auf den mit Kohlenpulver überstreuten Feldern ist alsbald der Schnee verschwunden, während er ringsum noch liegt; das Kohlenpulver verschluckt also soviel Wärmestrahlen, daß dadurch der Schnee sehr schnell geschmolzen wird.

So gut wie die Körper, von Wärmestrahlen getroffen, dieselben verschlucken und in Folge dessen ihre Temperatur erhöhen, ebenso haben sie auch die Fähigkeit, wenn sie wärmer sind als ihre Umgebungen, ihre Wärme auszustrahlen, in Folge dessen dann auch ihre Temperatur sinkt.

Wenn man ein Thermometer in einen kälteren Raum bringt, so sinkt es; es sinkt aber nicht allein deßhalb, weil es seine Wärme an die es berührende kalte Luft abgibt, sondern auch, weil es nach allen Seiten hin Wärme ausstrahlt und dagegen keine Wärmestrahlen empfängt, welche diesen Verlust ersetzen könnten. Ein Beweis dafür ist der Umstand, daß wenn man die beiden oben erwähnten Thermometer, wenn sie gleiche Temperatur haben, in einen kälteren Raum bringt, daß alsdann das berußte Thermometer weit rascher sinkt. Diejenigen Flächen nämlich, welche die Wärmestrahlen am leichtesten verschlucken, haben auch in höherem Grade die Eigenschaft, Wärmestrahlen auszusenden. In gleicher Zeit strahlt die berußte Thermometerkugel mehr Wärme aus als die glänzende, sie muß also auch schneller erkalten.

Das Erkalten der Körper durch Wärmestrahlung ist ein wichtiges Element in der Erklärung der Thaubildung. Wenn nach einem warmen Sommertag der Himmel heiter bleibt, so strahlen alle Gegenstände der Erdoberfläche, je nach ihrer Strahlungsfähigkeit, ihre Wärme gegen den freien Himmelsraum, ohne daß sie von irgend einer Seite her Wärmestrahlen empfingen. Eine Folge davon ist, daß die Erdoberfläche sich abkühlt.

Am meisten werden sich dabei diejenigen Körper abkühlen, welche das beste Strahlungsvermögen haben und diejenigen, welche am

meisten frei in die Luft ragen, für die Ausstrahlung also die größte Oberfläche bieten: das Laub der Bäume und Sträucher, die Halme und Blättchen des Grases u. s. w. Diese Körper verlieren ihre Wärme sehr rasch durch die Strahlung, während die Temperatur der Luft nicht so bedeutend sinkt. Wenn man an einem heitern Sommerabend einige Zeit nach Sonnenuntergang ein Thermometer in das Gras einer Wiese steckt, so findet man hier eine Temperatur, welche bedeutend niedriger ist als die Temperatur der Luft einige Fuß über dem Boden. Die Temperatur des Grases kann durch Wärmestrahlung sechs bis acht Grad unter die Temperatur der Luft sinken.

Wenn nun auf diese Weise der Boden durch Wärmestrahlung erkaltet ist, so erkältet er auch nach und nach die untersten Luftschichten. Die Wasserdämpfe, welche sich während des heißen Tages gebildet und in der Luft verbreitet hatten, können in den erkalteten Luftschichten nicht mehr in Gasform bestehen, der Wasserdampf in denselben wird großentheils zu tropfbar flüssigem Wasser condensirt, welches sich in Gestalt feiner Perlchen auf die erkalteten Körper ansetzt, wie die Wasserdämpfe eines warmen Zimmers sich an die kalten Fensterscheiben ansetzen.

Wenn die Temperatur der Wärme-strahlenden Körper bei diesem Vorgang unter Null sinkt, so setzen sich die condensirten Wasserdämpfe nicht mehr in Form von tropfbar flüssigem Wasser, sondern in Form feiner Eisnädelchen an, und so entsteht der Reif.

So erklärt sich denn nun auch, warum sich Thau und Reif nur bei heiterem Himmel und bei windstillem Wetter bilden können.

Wenn der Himmel bewölkt ist, so kann die Erdoberfläche ihre Wärme nicht frei gegen den Himmel ausstrahlen; sie ist gleichsam in einen Mantel gehüllt, welcher die Wärmestrahlen zurückhält, oder welcher vielmehr die Wärmestrahlen wieder auf den Erdboden zurücksendet, dieser kann also nicht so erkalten, wie bei heiterem Himmel.

Selbst bei heiterem Himmel bildet sich aber auch kein Thau, wenn einigermaßen lebhafte Winde wehen, denn diese Winde mischen die verschiedenen Luftschichten, sie bringen immer von Neuem warme Luftschichten mit dem Boden in Berührung, es kann also keine hinreichend große Temperaturerniedrigung der untern Luftschichten stattfinden, weil diese wieder in die Höhe geweht werden, ehe sie in Berührung mit dem Boden zur Thaubildung hinlänglich erkaltet sind; auch die Erkaltung des Bodens selbst wird dadurch verzögert,

weil er immer von Neuem wieder mit warmen Luftschichten in Berührung kommt.

Siebenzehnter Brief.

Von der Beugung des Lichtes.

Nichts beweist wohl mehr für Euler's klaren Geist, als der Umstand, daß er die Vibrationstheorie zu einer Zeit gegen die Emanationstheorie vertheidigte, in welcher die allgemeine Meinung der Gelehrten noch für die Newton'schen Ansichten war, in einer Zeit, in welcher die Vibrationstheorie noch nicht durch das Princip der Interferenzen der Emanationstheorie gegenüber einen entschiedenen Sieg errungen hatte. Wie treffend hat nicht Euler alle Inconvenienzen, alle Unwahrscheinlichkeiten der Emanationstheorie gezeichnet! wie überzeugend hat er auf der andern Seite seine Gründe für die Vibrationstheorie entwickelt, wie hat er sie, vorzugsweise auf die Analogie mit den Schallerscheinungen gestützt, wahrscheinlich zu machen gewußt. Was hier Euler nur als Ansicht ausspricht, was er nur aus einer Vergleichung mit den Schallerscheinungen schließt, hat sich später als vollkommen richtig erwiesen.

Gehen wir zur Betrachtung derjenigen Erscheinungen über, welche als die wahre Stütze der Vibrationstheorie betrachtet werden können. Sie waren zwar zum Theil in jener Zeit schon bekannt, ihre wahre Erklärung, ihr innerer Zusammenhang und ihre wahre Bedeutung für die Theorie des Lichtes waren aber noch nicht ermittelt. Euler spricht in seinen Briefen noch gar nicht von diesen damals noch so räthselhaften Erscheinungen, die sich jetzt durch die Vibrationstheorie alle auf ein gemeinsames Prinzip zurückführen lassen.

Einer der wesentlichsten Einwürfe, welche früher gegen die Vibrationstheorie gemacht wurden, ist der, daß man sagte, das Licht müsse sich, gleichwie der Schall, auch um Ecken fortpflanzen, wenn es einer Wellenbewegung seine Entstehung verdanke, es müsse sich auch in den nach dem Princip der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes entstehenden Schattenraum dunkler Körper verbreiten. Etwas der Art findet aber in der That statt, wie ich Ihnen sogleich auseinandersetzen werde, nur sind besondere Vorrichtungen nöthig, um die Erscheinung merklich zu machen.

Läßt man von einem vor dem Laden eines dunkeln Zimmers angebrachten Spiegel einen Sonnenstrahl in horizontaler Richtung

durch eine ungefähr $^1/_4$ Linien breite Spalte einfallen; fängt man diesen Sonnenstrahl mit einem etwa sechs Schritte vom Fenster entfernten Schirme auf, in welchem sich eine zweite Spalte, von ungefähr $^1/_2$ Linie Breite befindet, so wird sich das Licht nach dem Durchgang durch die zweite Spalte nicht allein in gerader Richtung fortpflanzen, sondern auch nach beiden Seiten hin verbreiten.

Fig. 15.

In Fig. 15. sey ab das Strahlenbündel, welches von der ersten Spalte auf die zweite fällt, so breitet hinter der zweiten Spalte das Licht ungefähr in der Weise aus, wie die Figur zeigt.

Eine solche Ausbreitung läßt sich schon nicht wohl nach der Emanationstheorie, sehr leicht aber durch die Annahme von Lichtwellen erklären.

Hinter der zweiten Spalte verbreitet sich jedoch das Licht nicht etwa gleichförmig, sondern abwechselnd in helleren und dunkleren Streifen, wie man leicht sehen kann, wenn man es in einer Entfernung von etwa 5—6 Schritten auf einem Papierschirme auffängt. Es erscheint alsdann auf diesem Papierschirm eine Lichtfigur, welche in Fig. 16. abgebildet ist.

Fig. 16.



In der Mitte der ganzen Figur erscheint ein breiter weißer Lichtstreifen, zu beiden Seiten durch schwarze Streifen eingefaßt, auf welche dann eine Reihe farbiger Seitenbilder folgen.

Um die Erscheinung in ihrer größten Einfachheit zu sehen, muß man das einfallende Licht durch ein einfarbiges, etwa durch ein rothes Glas gehen lassen. Man sieht alsdann ein rothes Mittelbild nebst einer Reihe von Seitenbildern, welche immer durch schwarze Streifen von einander getrennt dunkler werden, je weiter man sich von der Mitte entfernt.

Diese Erscheinung, sowie alle andern, welche beim Durchgang des Lichtes durch enge Oeffnungen erzeugt werden, sind unter dem Namen der Beugungserscheinungen bekannt.

Dieser Ausdruck rührt daher, daß die Anhänger der Emanationshypothese diese Erscheinungen durch die Annahme zu erklären ver-

suchten, als ob die Lichtstrahlen beim Vorübergehen an den Rändern fester Körper eine Beugung erlitten.

Die eben beschriebene ist die einfachste aller Beugungserscheinungen; die Darstellungsweise, welche ich Ihnen oben auseinandergesetzt habe, eignet sich am besten, um den Zusammenhang zu übersehen, doch ist diese Beobachtungsmethode nicht überall ausführbar; sie erfordert ein dunkles Zimmer, einen vor dem Laden desselben vom Innern des Zimmers her regierbaren Spiegel, weil man ja die Stellung desselben stets ändern muß, wenn die Sonne ihre Stellung am Himmel ändert; doch hat sie den großen Vorzug, daß Viele auf einmal die Beugungsfigur sehen können.

Dieselbe Erscheinung läßt sich aber auch noch auf weit einfachere Weise zeigen. Schneiden Sie in ein Kartenblatt mit dem Federmesser eine ganz feine Spalte, sehen Sie durch dieselbe nach einer etwa fünfzehn Schritte entfernten Kerzenflamme, so werden Sie die erwähnte Figur sehen.

Noch schöner zeigt sich die Erscheinung, wenn man statt des Kartenblattes eine mit Tusch überstrichene Glasplatte anwendet, und mit einer Nadel eine Linie in den Tuschüberzug zieht; dann aber auch noch vor das Licht einen Schirm setzt, in welchem sich eine ungefähr $^3/_4$ Linien breite Spalte befindet. Nach dieser Spalte, welche also eine Lichtlinie bildet, sieht man durch die in den Tuschüberzug radirte Linie, indem man das Glas dicht vor's Auge hält.

Wenn man die Beobachtung auf dem Papierschirm anstellt, so beobachet man, daß die Streifen um so schmäler werden, je breiter man die Spalte macht; weil nun hier die Spalte ziemlich breit ist, so muß man auch mit dem das Bild auffangenden Schirm sehr weit wegrücken, damit die Beugungsfigur breit genug wird. Wenn man die Spalte dicht vor's Auge hält, so bildet gleichsam die Netzhaut des Auges den Schirm, auf welchem die Figur aufgefangen wird. Weil aber dieser Schirm hier sehr nah hinter der Spalte sich befindet, so muß die Spalte selbst sehr schmal seyn, damit die Figur auf der Netzhaut breit genug wird. Hielte man eine Spalte von $^1/_2$ Linie Breite vor's Auge, so würde die Beugungsfigur auf der Netzhaut viel zu klein ausfallen, um bemerkbar zu seyn, daher kommt es denn auch, daß man die Verbreitung des Lichtes in dem geometrischen Schatten eines Körpers unter den gewöhnlichen Umständen nicht beobachten kann.

Achtzehnter Brief.

Von der Beugung des Lichtes.

(Fortsetzung.)

In meinem letzten Briefe habe ich Ihnen den Fundamentalversuch für die Beugungserscheinungen beschrieben; ich habe Ihnen verschiedene Methoden angegeben, den Versuch anzustellen. Wenn man die Erscheinung auf einem Schirm auffängt, so hat man den Vortheil, wenigstens angenähert genaue Messungen anstellen zu können; man braucht zu diesem Zweck nur einen Maaßstab auf dem Papierschirm an der Stelle aufzuzeichnen, auf welche die Beugungsfigur fallen soll; man kann alsdann die Entfernung der dunkeln Streifen von einander auf dem Maaßstab ablesen.

Läßt man das Licht noch ehe es auf die zweite Spalte fällt durch ein rothes Glas oder durch eine zwischen parallelen Glasplatten befindliche rothe Flüssigkeit gehen, so erhält man auf dem Schirm, wie schon bemerkt, abwechselnd rothe und schwarze Streifen — man kann die Entfernung der schwarzen Streifen bestimmen.

Nimmt man nun statt der rothen Flüssigkeit eine rein blaue, etwa eine Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd-Ammoniak, so erhält man abwechselnd blaue und schwarze Streifen, aber die ganze Figur ist schmäler, die schwarzen Streifen liegen näher bei einander, als bei der Anwendung des rothen Lichtes.

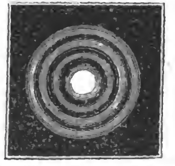
Die hellen und schwarzen Streifen der verschiedenen Farben fallen also bei Anwendung von weißem Licht, welches ja alle einzelnen Farben des Spectrums enthält, nicht zusammen, daher kommt es, daß die Seitenbilder alle mehr oder weniger gefärbt sind. Nur in der Mitte ist reines Weiß, weil hier die Maxima der Lichtstärke aller Farben zusammenfallen; in den Seitenbildern erscheinen Mischfarben, welche wir später näher betrachten wollen.

Die Beugungsfigur ändert sich mit der Form der Beugungsspalte; setzt man z. B. in den Laden des dunkeln Zimmers eine kleine runde Oeffnung von etwa einer Linie Durchmesser ein, wendet man statt der Beugungsspalte ein kleines rundes Loch von $1/2'''$ Durchmesser an, so erscheint auf dem Schirm ein heller runder Fleck, umgeben mit hellen und dunkeln farbigen Ringen.

Merkwürdige Veränderungen gehen in der Beugungsfigur vor, wenn statt einer Beugungsspalte zwei nebeneinander stehen. Jede der beiden Beugungsspalten sey $1/2$ Linie breit, und auch der

Zwischenraum zwischen beiden betrage $1/2$ Linie. Um den Vorgang recht deutlich wahrzunehmen, lassen Sie sich von einem Gehülfen die eine Beugungsspalte etwa mit einem Kartenblatt zuhalten, so daß nur durch die andere das Licht hindurchgehen kann; Sie beobachten nun auf dem Schirme die Fig. 17. Nun lassen Sie, während Sie noch das Beugungsbild beobachten, das Kartenblatt wegnehmen, so erscheinen augenblicklich in dem hellen centralen Theil der Figur vier vertikale scharfe schwarze Linien; auch in den Seitenbildern treten solche schwarze Linien auf, während der ganze übrige Theil der Figur an Lichtstärke zunimmt.

Fig. 17.



Sie sehen also, wie an einer Stelle, welche durch die eine Oeffnung erleuchtet ist, plötzlich schwarze Streifen dadurch entstehen, daß an diese Stelle auch noch Lichtstrahlen von der andern Spalte kommen, daß also durch das Zusammenwirken zweier Lichtbündel Dunkelheit entstehen kann.

Dieß ist der Ausgangspunkt für die heutige Vibrationstheorie. Daß sich zwei Lichtstrahlen gegenseitig vernichten, daß durch das Zusammentreffen zweier Lichtstrahlen Dunkelheit entstehen kann, ist eine Thatsache; eine Thatsache aber, die sich in keiner Weise mit der Emanationstheorie verträgt, die also ohne Weiteres die Unhaltbarkeit dieser Hypothese beweist; durch die Annahme von Lichtwellen läßt sich dagegen diese Erscheinung sehr gut erklären, wie ich Ihnen in meinem nächsten Briefe zeigen werde.

Neunzehnter Brief.

Elemente der Vibrationstheorie.

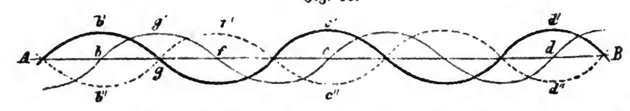
Nachdem ich Ihnen die Fundamentalerscheinung beschrieben habe, auf welche die Wellenlehre basirt ist, will ich versuchen, Ihnen deutlich zu machen, wie man sich die Wellen zu denken hat, durch welche die Lichtstrahlen fortgepflanzt werden, und wie man durch die Annahme solcher Lichtwellen die eben beschriebenen Erscheinungen nebst andern ähnlichen erklären kann.

Die Theilchen eines leuchtenden Körpers vibriren auf eine ähn-

liche Weise, wie dieß bei den schallenden Körpern der Fall ist, nur sind die Lichtvibrationen ungleich schneller als die Schallschwingungen, dann aber werden sie auch nicht durch Luft oder einen andern wägbaren Stoff, sondern durch den Lichtäther fortgepflanzt, von dem ja auch Euler schon in seinen Briefen spricht.

Wenn sich ein Lichtstrahl in der Richtung AB (Fig. 18.) ver-

Fig. 18.



breitet, so vibriren alle Aethertheilchen, welche im Zustand des Gleichgewichts auf der geraden Linie AB liegen in Richtungen, welche rechtwinklig auf AB sehen, ungefähr so, wie die Theile eines gespannten Seiles schwingen, wenn man an dem einen Ende einen kräftigen Schlag gegen dasselbe geführt hat. Die stark ausgezogene krumme Linie in Fig. 18. stellt die gegenseitige Lage der schwingenden Aethertheilchen in einem bestimmten Momente der Bewegung dar.

Betrachten wir die Schwingungen eines Aethertheilchens etwas genauer. Das Theilchen, dessen Gleichgewichtslage in b ist, vibrirt beständig zwischen den Punkten b' und b''. In b' ist seine Geschwindigkeit Null, je mehr das Theilchen sich der Gleichgewichtslage nähert, desto mehr wächst seine Geschwindigkeit, welche ihr Maximum in dem Augenblick erreicht, in welchem das Aethertheilchen die Gleichgewichtslage passirt. Von nun an nimmt die Geschwindigkeit wieder ab, bis sie endlich in b'' wieder Null wird, worauf denn die Bewegung in entgegengesetzter Richtung beginnt.

Die Schwingungen eines Aethertheilchens gehen ganz in der Weise vor sich, wie die Oscillationen einer an einer Schnur aufgehängten Pendelkugel.

Obgleich sich das Licht mit außerordentlicher Geschwindigkeit fortpflanzt, so geschieht diese Fortpflanzung doch nicht momentan, die Vibrationen eines Aethertheilchens theilen sich auch nicht momentan den in der Richtung des Lichtstrahl ihm folgenden mit. Stellen wir uns vor, die ganze Reihe von Aethertheilchen auf der Linie AB sey in Ruhe. Wenn nun das Molekül b in einem bestimmten Moment seine Vibrationen beginnt, so werden alle weiter nach B hin liegenden Theilchen später zu vibriren beginnen, und zwar um so später, je weiter sie von b liegen; während das Molekül b eine

vollständige Oscillation macht, d. h. während es von b' nach b'' und wieder zurück nach b' sich bewegt, wird sich die Bewegung bis zu irgend einem Molekül c fortpflanzen, so daß dieß Theilchen seine erste Vibration in demselben Momente beginnt, in welchem b seine zweite anfängt. Von nun an werden die beiden Theilchen b und c stets in gleichen Schwingungszuständen sich befinden, d. h. sie werden gleichzeitig nach derselben Seite hin sich bewegend die Gleichgewichtslage passiren, gleichzeitig das Maximum der Ausweichung auf der einen und auf der andern Seite von AB erreichen.

Die Entfernung bc zweier Aethertheilchen, welche sich stets in gleichen Schwingungszuständen befinden, heißt eine Wellenlänge. Wenn cd eine Wellenlänge ist, so wird das Molekül d seine erste Oscillation in dem Augenblick beginnen, in welchem c seine zweite und b seine dritte beginnt; d wird sich von nun an mit c und b stets in gleichen Schwingungszuständen befinden.

Wenn f in der Mitte zwischen b und c liegt, d. h. wenn es um eine halbe Wellenlänge von b entfernt ist, so befindet sich das Molekül f stets in Schwingungszuständen, welche denen der Moleküle b und c entgegengesetzt sind. Wenn b und c das Maximum der Ausweichung oberhalb AB erreichen, so erreicht f das Maximum der entgegengesetzten Seite. Das Molekül f passirt mit b und c gleichzeitig die Gleichgewichtslage, aber in entgegengesetzter Richtung sich bewegend.

Wenn zwei Aethertheilchen auf dem Wege eines Lichtstrahls um $^1/_2$ Wellenlänge von einander entfernt sind, so sind sie stets von gleichen, aber entgegengesetzten Geschwindigkeiten afficirt. Dasselbe gilt von solchen Theilchen, die um $^3/_2$, $^5/_2$, $^7/_2$ u. s. w. Wellenlängen von einander abstehen.

Während die stark ausgezogene Wellenlinie die gegenseitige Lage der Theilchen in dem Augenblick darstellt, in welchem das Molekül b seine höchste Stellung erreicht hat, stellt die schwächer gezogene krumme Linie die gegenseitige Lage der Theilchen in dem Augenblicke dar, in welchem b nach unten sich bewegend die Gleichgewichtslage passirt. In diesem Augenblick hat das Theilchen g, welches $^1/_4$ Wellenlänge von b absteht, in g' anlangend seinen höchsten Punkt erreicht, der Wellenberg ist also unterdeß von b' nach g' fortgeschritten.

In dem Augenblick, in welchen b seine tiefste Stellung b'' erreicht, ist der Wellenberg bis f'' fortgeschritten, g passirt nach unten

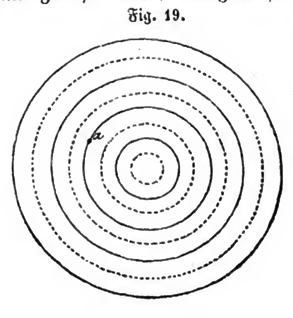
sich bewegend die Gleichgewichtslage, kurz die Theilchen haben die durch die punktirte Wellenlinie dargestellte gegenseitige Lage.

Die Wellenlänge ist für Lichtstrahlen verschiedener Farben nicht dieselbe; am größten ist die Wellenlänge der rothen, am kleinsten ist die Wellenlänge der violetten Strahlen. In meinen nächsten Briefen werde ich Ihnen zeigen, wie man im Stande ist, die Länge der Lichtwellen trotz ihrer außerordentlichen Kleinheit mit der größten Genauigkeit zu bestimmen.

Mit der ungleichen Wellenlänge hängt auch die ungleiche Schwingungsdauer zusammen. Die Vibrationen der violetten Strahlen sind die schnellsten, die der rothen sind die langsamsten; bei dem Lichte entspricht also die Verschiedenheit der Farben der ungleichen Höhe und Tiefe der Töne. Die rothen Strahlen entsprechen den tieferen, die violetten den höheren Tönen.

Von der Art und Weise, wie sich von einem leuchtenden Punkte aus die Lichtwellen ringsum bewegen, kann man sich ein recht deutliches Bild machen, wenn man die Wellen betrachtet, welche auf der Oberfläche eines stillstehenden Wassers entstehen, sobald man einen Stein hineinwirft. Von der Stelle aus, an welcher der Stein in's Wasser einsank, verbreiten sich ringsum kreisförmige Wellen; das Fortschreiten der Wellen von dem Mittelpunkte der Bewegung aus rührt aber nicht daher, daß die einzelnen Wassertheilchen eine solche Bewegung haben, denn wenn ein leichter Körper, etwa ein Stückchen Holz, auf dem Wasser schwimmt, so sieht man dasselbe nur auf- und niedergehen. Die Wassertheilchen an der Stelle, an welcher der Stein in's Wasser fiel, gehen abwechselnd auf und nieder, und diese Bewegung pflanzt sich ringsum mit gleicher Geschwindigkeit fort; alle Wassertheilchen also, welche gleichweit von dem Mittelpunkte entfernt sind, werden sich auch in gleichen Schwingungszuständen befinden, d. h. sie werden gleichzeitig ihre höchste und ihre tiefste Stellung erreichen, es werden sich also concentrische Wellenberge und Wellenthäler bilden, wie dieß durch Fig. 19. anschaulich gemacht werden soll. Wenn für einen bestimmten Moment die ausgezogenen Kreise den Wellenbergen,

Fig. 19.



die punktirten den Wellenthälern entsprechen, so werden die Wellenberge nach Aussen hin in der Weise fortschreiten, daß nach einer kurzen Zeit gerade an der punktirten Stelle sich die Wellenberge befinden, die Thäler aber in den ausgezogenen Kreisen.

Sämmtliche Wassertheilchen, welche sich zwischen zwei auf einander folgenden Wellenbergen, oder zwischen zwei Wellenthälern liegen, bilden eine Welle; die Wellenlänge aber ist die Entfernung von einem Wellenberge zum nächsten, oder von einem Wellenthal zum folgenden. Während ein Wassertheilchen, etwa a von seiner höchsten Stellung niedergeht und dann wieder bis zur Gipfelhöhe des Wellenberges aufsteigt, wird der Wellenberg um eine Wellenlänge fortschreiten.

Denken Sie sich von dem Mittelpunkte dieser Wasserwellen aus einen Radius gezogen, so wird die Vibrationsbewegung aller auf dieser geraden Linie gelegenen Wassertheilchen ganz ähnlich der Vibrationsbewegung der Aethertheilchen seyn, welche auf dem Wege eines Lichtstrahls liegen.

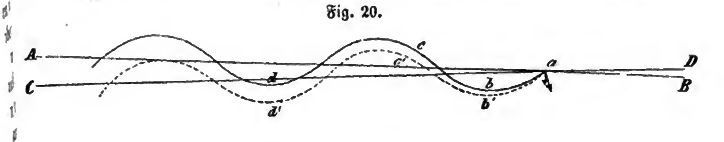
Zwanzigster Brief.

Princip der Interferenz und Bestimmung der Länge der Lichtwellen.

Nach den Auseinandersetzungen meines letzten Briefes läßt es sich nun ganz gut begreifen, wie zwei Lichtstrahlen bei ihrem Zusammentreffen sich gegenseitig unterstützen und wie sie sich gegenseitig aufheben können. Es ist nämlich möglich, daß zwei Lichtstrahlen in einem Punkte zusammentreffend diesem gleiche Oscillationsbewegung mittheilen, oder daß die Bewegung, welche das Wellensystem des einen Strahls dem Punkte mittheilt, der von dem andern Strahl herrührenden gerade entgegengesetzt ist; der Punkt wird ruhig bleiben, er wird gar nicht oscilliren, an dieser Stelle also findet keine Lichtwirkung statt.

Durch Zeichnung läßt sich dieß anschaulicher machen. In Fig. 20. mögen die Linien AB und CD zwei Lichtstrahlen darstel-

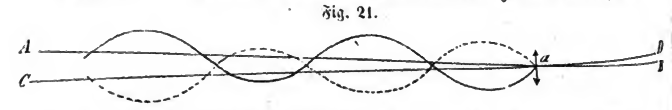
Fig. 20.



len, welche von einer Lichtquelle ausgehend auf verschiedenen Wegen zu dem Punkte a gelangen (also etwa von einer Spalte im Laden des dunklen Zimmers ausgehend durch zwei neben einanderliegende Beugungsspalten zu demselben Punkte des Schirms) und sich hier unter einem sehr spitzen Winkel schneiden. Wenn der Weg, welchen der Lichtstrahl CD von der Lichtquelle bis zum Punkte a zurückgelegt hat, gerade eben so groß oder um 1, 2, 3 u. s. w. ganze Wellenlängen größer ist, als die Länge von der Lichtquelle bis zum Punkte a auf dem Wege des andern Strahls, so werden die beiden Strahlen in a so zusammentreffen, wie es in Fig. 20. dargestellt ist. In dem Moment, welchen die Figur darstellt, wird das Aethertheilchen a durch die beiden Wellensysteme nach unten getrieben, nach einer halben Undulation wird dasselbe Theilchen von beiden Wellensystemen nach Oben getrieben, der eine Lichtstrahl unterstützt also die Wirkung des andern.

Fig. 21. versinnlicht das Zusammenwirken zweier Strahlen,

Fig. 21.



von denen der eine dem andern um $^1/_2$ oder $^3/_2$, $^5/_2$ u. s. w. Wellenlängen vorausgeeilt ist. Durch den einen Strahl wird das Theilchen nach Oben getrieben, während gleichzeitig der andere es nach unten zu bewegen strebt, durch zwei entgegengesetzte Kräfte angetrieben, bleibt aber das Theilchen ganz in Ruhe.

Aus diesem Princip der gegenseitigen Einwirkung der Lichtstrahlen, welche den Namen der **Interferenz** führt, lassen sich viele Lichterscheinungen erklären; so einfach aber auch das Princip ist, so erfordert seine Anwendung auf einzelne Fälle oft einen großen Aufwand mathematischer Kenntniß, selbst die Erklärung einfacher Beugungserscheinungen erfordert eine, wenn auch ganz elementare, mathematische Betrachtung.

Um Ihnen die oben beschriebenen Beugungserscheinungen zu erklären, muß ich Ihre Aufmerksamkeit noch etwas in Anspruch nehmen, denn ich möchte mich hier nicht gern mit einer oberflächlichen Erklärung begnügen, ich möchte wenigstens so weit Ihnen die Ableitung der Beugungserscheinungen aus der Vibrationstheorie zeigen, daß Sie sehen können, wie es möglich ist, die Länge der Lichtwellen zu bestimmen, eine Aufgabe, von deren Lösung man zu Euler's Zeit noch keine Ahnung hatte.

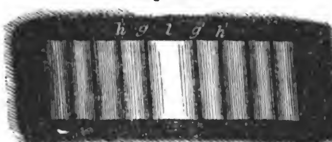
Das Verständniß der folgenden Erklärung erfordert nicht etwa tiefe mathematische Kenntnisse, im Gegentheil ganz elementare Begriffe reichen dazu schon aus, nur ist einige Aufmerksamkeit nöthig.

In Fig. 22. stelle ab die Beugungsspalte vor. Auf diese Spalte fällt das Licht von der Lichtlinie in den Spalt im Laden, alle Aethertheilchen in der Oeffnung des Spalts befinden sich in gleichen Schwingungszuständen, alle Aethertheilchen zwischen a und b z. B. gehen gleichzeitig rechts, dann wieder gleichzeitig links. Von jedem dieser vibrirenden Theilchen zwischen a und b verbreiten sich nun Lichtwellen nach allen Seiten hin, so daß ein jeder Punkt des Schirms elementare Lichtstrahlen von jedem der Aethertheilchen zwischen a und b erhält; die Lichtstärke, welche man an den einzelnen Stellen des Schirmes finden wird, hängt also davon ab, wie sich alle die einzelnen Lichtstrahlen, welche in diesem Punkte zusammentreffen, unterstützen oder aufheben.

Fig. 22.

Daß im Punkte l des Schirms, welcher der Oeffnung ab gerade gegenüber liegt, die größte Lichtstärke herrscht, versteht sich von selbst; wir wollen aber sehen, wie die schwarzen Streifen zu beiden Seiten des mittleren lichten Raumes des Beugungsbildes Fig. 16. entstehen. Es sey g der Punkt des Schirms, von welchem der erste dunkle Streifen, also der Streifen g der Beugungsfigur Fig. 23. von der Mitte des Bilds aus gerechnet, entsteht. (In Fig. 22. ist die Entfernung gl viel größer gemacht, als es für Fig. 23. der Fall


Fig. 23.



ist, weil sonst nicht die nöthige Deutlichkeit hätte erreicht werden können.) Denken wir uns von g aus Linien nach a, nach b und nach c, der Mitte der Oeffnung ab gezogen, ferner von a ein Perpendikel ao auf cg gefällt, so wird in g ein dunkler Streifen seyn, wenn co gleich einer halben Wellenlänge ist. Verlängert man die Linie ao bis n, so ist alsdann bn gleich einer ganzen Wellenlänge. Ein von c auf bg gefälltes Perpendikel fällt in die Mitte zwischen b und n. Die Theilchen a, d, c, e und b sind alle in gleichen Schwingungszuständen und wenn bn eine Wellenlänge ist, so befinden sich auch a und n in gleichen Schwingungszuständen; a und o aber befinden sich in entgegengesetzten Schwingungszuständen und da a und o gleich weit von g entfernt sind, so werden die Strahlen ag und cg in g zusammentreffend sich gegenseitig aufheben.

Ebenso heben sich die Strahlen dg und eg in g zusammentreffend auf, wenn d in der Mitte zwischen a und c, e aber in der Mitte zwischen c und b liegt; kurz die Wirkung eines jeden einzelnen Strahles des Bündels acg wird durch einen entsprechenden Strahl des Bündels cbg aufgehoben, die Gesammtwirkung aller von ab aus nach g gelangenden Strahlen ist also Null, in g ist also eine dunkle Stelle.

Für solche Punkte des Schirms, welche weiter von der Mitte des Beugungsbildes entfernt sind als g, wird bn größer als eine Wellenlänge; für diejenigen solcher Punkte, für welche bn 2, 3, 4 u. s. w. Wellenlängen beträgt, findet immer vollkommene Aufhebung statt, hier sind ganz dunkle Stellen, während zwischen ihnen die Aufhebung der Lichtstrahlen nicht vollständig ist.

So wäre denn die Entstehung der hellen und dunklen Streifen im Beugungsbilde im Allgemeinen erklärt; gehen wir nun zur Bestimmung der Wellenlänge.

Die Dreiecke glc und bna sind einander ähnlich und daher die Proportion

$$bn : an = gl : lc.$$

Es ist aber

bn gleich der Wellenlänge, die wir mit w,

an ohne merklichen Fehler gleich ab, der Breite des Spaltes, die wir mit b bezeichnen wollen.

Ferner ist

cl die Entfernung l des Schirms vom Spalt,

gl die Entfernung e des ersten dunklen Streifens von der Mitte des Beugungsbildes;

obige Proportion wird demnach

$$w : b = e : l$$

das heißt in Worten: es verhält sich die Wellenlänge zur Breite des Spaltes, wie sich die Entfernung des ersten dunklen Streifens von der Mitte des Bildes zur Entfernung des Schirms von der Spalte verhält.

Die Breite der Spalte, die Entfernung des Schirms von der Spalte, die Entfernung des ersten dunklen Streifens von der Mitte des Beugungsbildes sind aber meßbare Größen, in jener Proportion sind also b, e und l bekannt, man kann also w berechnen.

Es sey die Breite des Spaltes $b = \frac{15}{1000}$ die Entfernung des Schirms von der Spalte $l = 93$ Zoll; so ist bei Anwendung von rothem Lichte die Entfernung der beiden Streifen g und g' der Beugungsfigur Fig. 23. $\frac{3}{10}$ Zoll, also $e = \frac{15}{100}$ Zoll, wir haben also die Gleichung $w : \frac{15}{1000} = \frac{15}{100} : 93$

und daraus $$w = \frac{24}{1000000}.$$

Die Wellenlänge beträgt also für rothes Licht 24 Milliontel eines Zolles.

Für gelbes, grünes, blaues, violettes Licht sind die dunklen Streifen des Beugungsbildes Fig. 23. näher beisammen, woraus sich auch eine geringere Wellenlänge ergibt.

Für violettes Licht ist die Wellenlänge nur 15 Milliontel Zoll.

Einundzwanzigster Brief.

Anzahl der Lichtschwingungen in einer Sekunde. Beugungserscheinungen durch zwei und mehrere Spalten.

Ist einmal die Wellenlänge bekannt, so ist es auch leicht zu berechnen, wie viel Schwingungen in der Sekunde den verschiedenen farbigen Strahlen zukommen, vorausgesetzt, daß man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes kennt. Das Licht braucht bekanntlich 8 Minuten und 13 Sekunden, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, es legt also in jeder Sekunde einen Weg von unge-

fähr 40,000 Meilen oder 10,560 Millionen Zollen zurück. Bei jeder Vibration schreitet der Lichtstrahl um eine Wellenlänge vorwärts; um also zu erfahren, wie viel Vibrationen auf eine Sekunde kommen, hat man nur mit der Wellenlänge in den Weg zu dividiren, welchen das Licht in einer Sekunde zurücklegt. Die Wellenlänge des rothen Lichtes ist 24 Milliontel Zoll, damit hat man also in 10,560 Million zu dividiren, es ist also die Anzahl der Vibrationen des rothen Lichtes in jeder Sekunde gleich

$$10{,}560{,}000{,}000 : \frac{24}{1000000} = \frac{10\,560\,000\,000\,000\,000}{24}$$
$$= 440{,}000{,}000{,}000{,}000.$$

Das rothe Licht macht also die ungeheure Zahl von 440 Billionen Schwingungen in der Sekunde. Für violettes Licht ist die Anzahl der Vibrationen in jeder Sekunde noch größer; sie beträgt ungefähr 720 Billionen. Kehren wir wieder zu den Beugungserscheinungen zurück. Wir haben bisher nur den einfachsten Fall, nämlich die Beugungsfigur betrachtet, welche durch einen Spalt erzeugt wird. Begreiflicherweise wird sich die Beugungsfigur mit der Gestalt der beugenden Oeffnung sowohl als auch dadurch verändern, daß man das Licht nicht durch eine, sondern durch 2, 3, 4 u. s. w. beugende Oeffnungen einfallen läßt.

Den Fall, daß das Licht durch zwei nebeneinanderliegende Beugungsspalten geht, habe ich schon im Briefe besprochen, ich habe Ihnen nämlich gezeigt, daß die Beugungsfigur, welche durch eine Spalte erzeugt wird, durch das Hinzukommen der Zweiten nur insofern modificirt wird, daß schwarze Streifen in den vorher hellen Parthieen des Bildes auftreten.

Ich will nun versuchen, Ihnen diese Erscheinungen zu erklären.

Nach dem am Schlusse des vorigen Briefes betrachteten Beispiel entsteht durch eine $^{15}/_{1000}$ Zoll breite Spalte auf einem 93 Zoll entfernten Schirm eine Beugungsfigur wie Fig. 23., in welcher die beiden mittelsten schwarzen Streifen um $^{3}/_{10}$ Zoll, also etwa 3 Linien von einander abstehen. Ist nun um $^{15}/_{1000}$ Zoll rechts von dieser Spalte eine zweite ganz gleiche angebracht, so wird diese letztere Spalte für sich allein ganz dieselbe Beugungsfigur entstehen, wie die durch die andere Spalte allein erzeugte, nur wird das Beugungsbild der letzteren um $^{15}/_{1000}$ Zoll weiter rechts stehen als das durch die ersteren erzeugte.

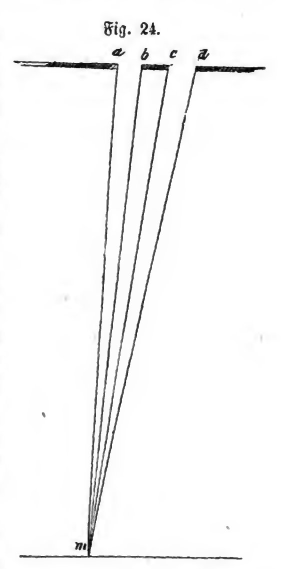
Diese Verrückung ist aber höchst unbedeutend gegen die Breite des Beugungsbildes, gegen die Breite der dunkeln Streifen in demselben, das Beugungsbild der einen Spalte fällt bis auf eine der

Beobachtung entgehende Verschiebung mit dem der andern zusammen, die schwarzen Streifen der beiden Beugungsbilder fallen aufeinander.

Daraus geht nun hervor, daß die schwarzen Streifen, welche die erste Spalte liefert, durch die zweite nicht verändert werden können; die schwarzen Streifen, welche die einzelnen hellen Abtheilungen der Fig. 17. trennen, verschwinden nicht durch das Hinzukommen der zweiten Spalte, die Grundfigur bleibt unverändert.

In den hellen Räumen der Beugungsfigur können aber durch Hinzutreten der zweiten Spalte Veränderungen entstehen, wie ich Ihnen sogleich zeigen werde.

Fig. 24.



In Fig. 24. seyen ab und cd die beiden Spalten, m sey eine Stelle des Beugungsbildes, welche sowohl für die eine Spalte allein als auch durch die andere allein hell ist, d. h. das Strahlenbündel abm in m zusammentreffend, setzt diesen Punkt in Vibrationen; ebenso macht aber auch das Strahlenbündel cdm den Punkt m vibriren.

Nun aber kann der Fall eintreten, daß die Bewegung, welche das Strahlenbündel abm dem Punkte m mittheilt, derjenigen gleich und entgegengesetzt ist, welche das Strahlenbündel cdm demselben Punkt mittheilt, und in diesem Falle wird in m ein dunkler Streif entstehen, während jede Oeffnung für sich allein hell macht. So ist denn wenigstens der Art nach erklärt, wie durch Hinzukommen der zweiten Spalte schwarze Streifen an solchen Stellen entstehen, die hell sind, wenn nur eine Spalte geöffnet ist.

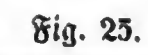
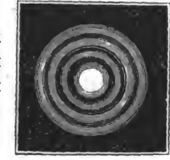


Fig. 25.



Durch eine feine, runde Oeffnung, wie man sie mit einer feinen Nadel in ein Kartenblatt oder ein Stanniolblättchen machen kann, erblickt man, nach einem Lichtpunkte hinsehend, die Beugungsfigur, Fig. 25.

Einen Lichtpunkt erhält man, wenn man vor eine Lampe einen Schirm setzt, in welchem sich eine runde Oeffnung von ungefähr einer Linie Durchmesser befindet, oder noch besser, wenn man ein Uhrglas innen schwärzt und es in die Sonne legt. Das glänzende Sonnenbildchen, welches man im Uhrglas sieht, ist für solche Beobachtungen ein trefflicher Lichtpunkt.

Sind zwei solcher Oeffnungen neben einander (etwa so . .), so erblickt man die Figur mit vertikalen, schwarzen Streifen durchzogen; sind vier kleine, runde Oeffnungen so neben einander gestellt, daß sie ein aufrechtstehendes Quadrat bilden (etwa so ⁚⁚), so erscheint die Beugungsfigur, Fig. 25., mit vertikalen und horizontalen Linien durchzogen.

Mit zunehmender Anzahl der Beugungsöffnungen werden die Beugungsfiguren immer complicirter, aber auch brillanter und schöner.

Zu den schönsten Beugungserscheinungen, welche durch viele feine Oeffnungen hervorgebracht werden, gehört die, welche man erblickt, wenn man durch die Fahne einer Flügel- oder Schwanzfeder eines kleineren Vogels nach einem Lichtpunkte sieht.

Streut man eine dünne Schicht von sogenanntem Hexenmehl (semen lycopodii) auf eine Glastafel, blickt man dann durch dieselbe nach einer brennenden Kerze, so erblickt man sie mit einem prachtvollen Hofe von mehreren farbigen Ringen. Auch dieß ist eine Beugungserscheinung, hervorgebracht durch die zahllosen kleinen Zwischenräume, welche sich zwischen den einzelnen Körnchen befinden.

Die Höfe, welche man um den Mond und um die Sonne erblickt, haben wahrscheinlich einen ähnlichen Entstehungsgrund. Die feinen Nebelbläschen treten hier an die Stelle der Hexenmehlkörnchen auf der Glasplatte.

Zweiundzwanzigster Brief.

Farben dünner Blättchen.

Zu den schönsten Lichterscheinungen, welche man sehen kann, gehören unstreitig die Farben der Seifenblasen. Diese so allbekannte Erscheinung findet ebenfalls durch die Wellentheorie ihre vollständige Erklärung.

Diese glänzenden Farben werden durch die dünne Schicht von

Seifenwasser hervorgebracht. Es ist dieß jedoch nicht blos eine Eigenthümlichkeit des Seifenwassers, in ganz dünnen Schichten solche Farben zu zeigen; jeder durchsichtige Körper zeigt sie, wenn er nur dünne genug ist. Die Seifenblasen sind nur der bekannteste Fall solcher Farben, doch hat man im alltäglichen Leben oft genug Gelegenheit, sie auch sonst noch, wenn auch nicht immer, so schön zu beobachten.

Sie haben gewiß schon oft alte Fensterscheiben, namentlich an Ställen gesehen, die, von Aussen gesehen, in den brillantesten Nüancen blau, roth, gelb und grün schimmern. Hier sind die Farben durch eine dünne Schicht verwitterten Glases gebildet, welche die Oberfläche der Scheibe überziehen.

Manchmal sieht man Pfützen mit einem dünnen Fetthäutchen überzogen, welches in den lebhaftesten Farben schillert.

Dieß läßt sich leicht nachahmen; lassen Sie nur auf das Wasser eines etwas großen Waschbeckens einen Tropfen Terpentinöl fallen, so wird er sich alsbald über die ganze Wasserfläche ausbreiten und in den lebhaftesten Farben spielen.

Wenn der Stahl gehärtet werden soll, so wird er bekanntlich glühend gemacht und dann rasch in Wasser abgelöscht. Er ist aber nun glashart und sehr spröde; um ihn anwenden zu können, muß ihm je nach dem Zweck, zu welchem er verwendet werden soll, mehr oder weniger von seiner Härte nehmen. Dieß geschieht dadurch, daß man den gehärteten Stahl auf glühende Kohlen legt und bis zu einem gewissen Grad erwärmt. Je weiter der Stahl erwärmt wird, desto mehr verliert er von seiner Härte, er wird wieder so weich, wie er vor dem Härten war, wenn man ihn wieder glühend macht. Ob nun der Stahl bis zu einem gewissen Grade erwärmt, ob er so weit angelassen ist, wie es zu einem bestimmten Zwecke seyn soll, erkennt der Metallarbeiter an dem sogenannten Anlaufen. Auf glühende Kohlen gelegt überzieht sich nämlich der Stahl mit einem Farbenton, welcher mit zunehmender Hitze sich ändert. Zuerst geht die natürliche Metallfarbe in blaßgelb über, bei zunehmender Wärme wird sie dunkelgelb, braungelb, violettroth, blau u. s. w.

Sie haben gewiß schon bemerkt, daß die Stahlfedern, wie sie die Uhrmacher brauchen, dunkel violett aussehen. Diese Farbe haben sie durch das Anlassen erhalten.

Hier ist es eine dünne Oxydschicht, welche in Folge der Erwärmung den Stahl überzieht, und welche diese Farben zeigt. Mit

steigender Hitze nimmt die Dicke der Schicht zu, und mit der Dicke der Oxydschicht ändert sich auch ihre Farbe.

Wenn ein dickes Glas, etwa ein sogenanntes Krystallglas, einen Sprung bekommt, der durch die dicke Masse hindurchgeht, so zeigt ein solcher Sprung oft die schönsten Farbenstreifen. Hier ist eine dünne Luftschicht, welche in den Spalt eingedrungen ist, die Ursache der Farben.

Um die Farben dünner Schichten in ihrer ganzen Regelmäßigkeit zu sehen, kann man folgende Methoden anwenden. Man gießt Seifenwasser in ein Schälchen von etwas großem Durchmesser und erzeugt eine Seifenblase unmittelbar über dem Schälchen, so daß sie eine Halbkugel bildet, welche auf demselben aufsitzt; man hört nun schon zu blasen auf, wenn sich oben Farben zeigen, und läßt dann die Blase ruhig stehen; damit sie nicht etwa durch einen Luftzug zerstört wird, kann man eine Glasglocke über das Ganze decken. Nach einiger Zeit sieht man um den Gipfel der Blase herum eine Reihe regelmäßig glänzender farbiger Ringe.

Hier folgen die farbigen Ringe in regelmäßiger Ordnung aufeinander, weil die Dicke der Seifenwasserschicht von Oben nach Unten regelmäßig zunimmt. Der Gipfel der Seifenblase ist die dünnste Stelle derselben. Wenn es gelingt, die Ringe in größter Vollkommenheit zu erhalten, so erscheint im Gipfel der Halbkugel ein schwarzer Fleck, und es hat das Ansehen, als ob hier ein Loch in der Kugel wäre; dieser schwarze Fleck erscheint erst, wenn der Gipfel wirklich so dünn geworden ist, wie nur immer möglich; ist einmal dieser dunkle Fleck erschienen, den dann die farbigen Ringe umgeben, so ist die Blase dem Zerspringen sehr nahe.

Die Seifenblase eignet sich ihrer großen Zerbrechlichkeit wegen nicht zu näherer Untersuchung dieser Ringe; Newton, der sie zuerst näher untersuchte, und nach welchem sie deßhalb auch newton'sche Ringe genannt werden, wandte zur Erzeugung derselben folgendes Mittel an:

Er legte eine Linse von sehr großer Brennweite, also auch von großem Krümmungshalbmesser auf eine ebene Glastafel. Natürlich berührte die Linse die Glastafel nur in einem Punkte, von welchem aus die Entfernung zwischen Linse und Glastafel, also auch die Dicke der Luftschicht regelmäßig zunahm. Es erscheint auf diese Weise ein schwarzer Fleck, umgeben von farbigen Ringen, die nach Aussen blasser und enger werden. Um die Ringe einigermaßen breit zu sehen, ist aber schon eine Linse von ungewöhnlicher

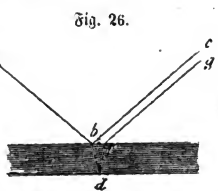
Brennweite nöthig; mit den Linsen, welche als Brillengläser für schwach Fernsichtige gebraucht werden, erhält man ein Ringsystem, dessen ganzer Durchmesser kaum mehr als eine Linie beträgt. Durch Anwendung einer Luppe kann man jedoch die Ringe vergrößert und deutlicher sehen.

Um breitere Ringe zu erhalten, kann man auch ein Hohlglas anwenden, in welches ein Converglas hineinpaßt, dessen Krümmungshalbmesser nur unbedeutend kleiner ist, als der des Hohlglases. Hier nimmt die Dicke der Luftschicht natürlich nicht so schnell zu, als wenn man das Converglas auf eine ebene Glasplatte gelegt hätte.

Dreiundzwanzigster Brief.

Ueber die Farben dünner Schichten
(Fortsetzung.)

Fig. 26.



Die newton'schen Ringe und Farben lassen sich nach der Vibrations-Theorie ohne Schwierigkeit erklären. Wenn ein Lichtstrahlenbündel ab auf eine dünne, durchsichtige Schicht trifft, so wird ein Theil des Lichtes gleich an der ersten Gränzfläche in der Richtung bc reflectirt. Ein anderer Antheil des Lichtstrahlenbündels ab wird nach bd zerbrochen, tritt hier theilweise aus, wird aber auch zum Theil nach df gespiegelt, um hier in der Richtung fg auszutreten. Die Strahlen bc und fg werden nun interferiren, d. h. sie werden sich abwechselnd aufheben oder unterstützen, je nachdem die Länge des Weges bdf, um welchen der eine Strahl weiter laufen muß, als der andere, größer oder kleiner ist.

Untersucht man die Ringe mit einem rothen Glase, so sieht man nur abwechselnd rothe und schwarze Ringe, durch ein rein grünes Glas erscheinen sie abwechselnd grün und schwarz u. s. w. Für grünes Licht sind aber die Ringe enger als für rothes, für blaues enger als für grünes. Der Durchmesser der Ringe wird für die verschiedenen einfarbigen Strahlen in demselben Verhältniß kleiner als ihre Wellenlänge ist.

Da die hellen und dunklen Ringe für die verschiedenen Farben nicht zusammenfallen, so ist klar, daß an verschiedenen Stellen bald

die eine, bald die andre Farbe vorherrschen wird; an keiner Stelle, den centralen Fleck ausgenommen, findet sich ein ganz schwarzer, nirgends mehr ein ganz weißer Ring.

Für eine bestimmte Dicke der Luftschicht z. B. fehlt das Blau ganz, weil für die blauen Strahlen eine vollständige Aufhebung stattfindet, indigo und grün sind noch sehr schwach, gelb und violett etwas stärker, orange schon sehr stark, roth aber im Maximum seiner Intensität; die aus dieser Mischung hervorgehende Farbe wird also ein lebhaftes Roth seyn.

An einer andern Stelle fehlt das Gelb; Indigo und Roth sind aber im Maximum ihrer Lichtstärke; die Mischung wird also ein dunkles Purpur seyn.

Solche Ringe, in denen gerade das Gelb fehlt, sind dunkler als alle andern; diese dunklen Ringe theilen die ganze Figur in leicht zu erkennende Abtheilungen. Die Farben der ersten Abtheilung, d. h. von dem mittleren, schwarzen Fleck bis zum ersten, dunklen Ring heißen Farben der ersten Ordnung.

Die Farben der ersten Ordnung sind:

Bläulich weiß, gelblich weiß, braungelb, roth.

Die Farben der zweiten Ordnung, d. h. die zwischen dem ersten und zweiten dunklen Ringe liegenden sind:

Dunkelpurpur, blau, gelbgrün, gelb, roth.

Die Farben der dritten Ordnung sind:

Purpur, blau, grün, roth

u. s. w.

Man kann die Ringe bis zur siebenten Ordnung verfolgen; die Farben der höheren Ordnungen, von der vierten an, sind aber sehr matt, es ist immer nur ein weißlicher Farbenton, welcher bald etwas mehr in's Rothe oder in's Grüne spielt. Am schönsten sind die Farben der zweiten und dritten Ordnung.

Die Dicke der Luftschicht, welche das Gelb zweiter Ordnung zeigt, ist $8^1/_2$ Milliontheil eines Zolles, die doppelte Dicke der Luftschicht zeigt das Grün der dritten Ordnung u. s. w.

Man kann, da die Wellenlänge der verschiedenfarbigen Strahlen bekannt ist, mit vollkommener Genauigkeit die Farbe berechnen, welche jeder Dicke der Luftschicht zukommt, man kann also die ganze Erscheinung nicht allein der Art, sondern auch der Größe nach eben so vollständig erklären, wie die Beugungserscheinungen. Hier muß ich mich natürlich darauf beschränken, Ihnen das Princip der Entstehung der newton'schen Farben klar zu machen.

Nachdem man nun zu einer so vollständigen Erklärung mehrerer Lichterscheinungen durch die Vibrationstheorie gelangt ist, muß man natürlich auch wünschen, andere Phänomene eben so vollständig erklären zu können; wir haben jetzt einen viel strengeren Maaßstab an die verschiedenen Erklärungsweisen anzulegen, als früher, und so kommt es denn, daß manche Erklärungsweisen, mit denen man zur Zeit Euler's ganz zufrieden seyn konnte, jetzt nicht mehr genügend sind. Dahin gehört namentlich die Erklärung, welche Euler im achtundzwanzigsten Briefe von den natürlichen Farben der Körper gegeben hat. Es ist dieß mehr eine bildliche Vorstellung als eine strenge Erklärung.

Obgleich wir nun Euler's Erklärung der natürlichen Farben der Körper für ungenügend erklären müssen, weil sie durchaus nicht auf dem Standpunkt der Vollendung steht, wie die Erklärung der Beugungserscheinungen und der Farben dünner Blättchen, so sind wir doch auch noch nicht im Stande, eine bessere an ihre Stelle zu setzen, wir müssen gestehen, daß die natürlichen Farben der Körper noch nicht genügend erklärt sind.

Man hat versucht, die natürlichen Farben der Körper auf die Farben dünner Blättchen zurückzuführen, bis jetzt ist dieß aber noch nicht auf befriedigende Weise gelungen.

Spricht dieser Umstand aber nicht gegen die Wellentheorie? — Durchaus nicht! Wenn wir auch nicht im Stande sind, die natürlichen Farben der Körper vollständig aus der Wellentheorie abzuleiten, so lassen sie sich doch mit dieser Theorie zusammenreimen, sie stehen keineswegs in directem Widerspruch mit derselben; während die Aufhebung des Lichtes durch zwei in einem Punkt zusammentreffende Strahlen mit der Emanationstheorie ganz unvereinbar ist.

Was nun die natürlichen Farben der Körper betrifft, so ist es weit besser, zu gestehen, daß sie bis jetzt noch nicht genügend erklärt sind, und dadurch die Bestrebungen der Physiker auf diesen Mangel aufmerksam zu machen, als sich mit einer unvollständigen Theorie zufrieden zu geben.

Vierundzwanzigster Brief.

Geschichte und Entwickelung der Elektricitätslehre.

In dem 6ten bis 22ten Briefe des zweiten Theils spricht Euler von der Elektricität. Dieser Theil der Naturlehre lag zu jener Zeit noch in seiner ersten Kindheit, die Zahl der damals bekannten Thatsachen war noch sehr gering, nicht einmal die wichtigsten empirischen Gesetze der Reibungselektricität waren bekannt, von der galvanischen Elektricität wußte man noch gar nichts. Die Erklärung, welche Euler von den elektrischen Erscheinungen gab, ist bei dem jetzigen Standpunkte unserer Kenntnisse durchaus nicht mehr genügend; ich habe Ihnen deßhalb in meinen Briefen nicht sowohl Nachträge zu dem zu geben, was Euler schon über Elektricität gesagt hat, sondern vielmehr die Grundzüge der gesammten Elektricitätslehren zu entwickeln. Bevor ich jedoch zur Besprechung der einzelnen elektrischen Erscheinungen und Gesetze übergehe, wird es gut seyn, erst eine kurze Entwickelungsgeschichte der Elektricitätslehre und einige allgemeine Betrachtungen vorauszuschicken.

Die vollendetste aller Naturwissenschaften, die Astronomie, ist zugleich auch die älteste. Das Studium der Astronomie reicht Jahrtausende hinauf; nur mit langsamem Schritte sehen wir sie ihrer Vollendung entgegengehen. Jahrhunderte vorbereitender Erfahrungen und Arbeiten waren immer nöthig, ehe es einem genialen Geiste möglich wurde, einen neuen Standpunkt für die Betrachtung der astronomischen Erscheinungen zu gewinnen. Die ersten Geister aller Zeiten und aller Völker mußten mit vereinten Kräften daran arbeiten, den Bau so weit zu führen, wie er jetzt vor unsern Augen dasteht.

An der Astronomie und der mit ihr so mannigfach verwandten Mechanik bildete sich auch allmählig die inductive Methode der Naturforschung heran; durch das Studium der Astronomie und der Mechanik sind gleichsam die Wege aufgefunden worden, auf denen nun auch andere Theile der Naturlehre einer rascheren Entwickelung entgegengeführt werden können, mit der Ausbildung der Astronomie und Mechanik wurde die Entwickelung anderer Zweige der Naturwissenschaften vorbereitet und nur durch eine solche Vorbereitung ist es erklärlich, wie der jüngste Zweig, wie die Elektricitätslehre, und namentlich die Lehre vom Galvanismus, in wenigen Jahrzehenden so weit ausgebildet werden konnte, daß sie uns

schon eine Menge wichtiger Naturgesetze vor Augen legte und auch schon für das praktische Leben ihre Früchte getragen hat.

Schon waren die wichtigsten Gesetze der Reibungselektricität, nämlich die Gesetze der elektrischen Anziehung und Abstoßung, der Vertheilung und Bindung, der Wirkung der Spitzen u. s. w. richtig erkannt, als zu Anfang der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts durch die Entdeckung des Galvanismus das Studium der Elektricität eine ganz neue Richtung erhielt.

Wenige naturwissenschaftliche Entdeckungen haben ein solches Aufsehen erregt, wenige haben so staunenswerth rasche Fortschritte in der Physik veranlaßt, als die Beobachtung der Zuckungen, welche man unter gewissen Umständen an Froschschenkeln wahrnimmt. Diese Beobachtung kann mit dem ersten Betreten eines bis dahin unbekannten Erdtheils verglichen werden, der nun in kurzer Zeit von kühnen Reisenden nach allen Richtungen hin durchzogen und erforscht wird.

Aloisius Galvani, Arzt und Physiker, Professor zu Bologna, machte im Jahr 1790 zufällig die Beobachtung, daß die Schenkel frischgetödteter Frösche jedesmal in Zuckungen gerathen, wenn man sie in der Nähe einer Elektrisirmaschine ableitend berührt, während dem Conductor ein Funken entzogen wird. — Hätte Galvani eine gründlichere Kenntniß der Elektricitätslehre gehabt, hätte er die damals schon ermittelten Gesetze der elektrischen Vertheilung genauer gekannt, so hätte ihm diese Erscheinung nicht auffallen können, indem diese Zuckungen nur eine Folge des elektrischen Rückschlags sind. Glücklicherweise fand Galvani nicht die richtige Erklärung dieses Phänomens, seine Ideen waren nach einer ganz andern Seite hin gerichtet, er vermuthete eine eigenthümliche Elektricität im thierischen Körper, mit deren Hülfe er die uns so dunklen Erscheinungen des thierischen Lebens erklären zu können hoffte. Diese Hoffnung veranlaßte ihn, seine Versuche mit Froschschenkeln rastlos fortzusetzen, und so machte er denn die Entdeckung, welche seinen Namen in der Geschichte der Wissenschaft unsterblich macht.

Als Galvani einst Froschschenkel mittelst kupferner Haken an einem eisernen Balkongeländer aufgehängt hatte, bemerkte er, daß sie jedesmal Zuckungen machten, so oft die äusseren Schenkelmuskeln durch den Wind mit dem eisernen Geländer in Berührung gebracht wurden. Er erkannte sogleich hier eine eigenthümliche Erscheinung, deren Ursache er weiter zu erforschen bemüht

war. Er erklärte das merkwürdige Phänomen dadurch, daß er die Froschschenkel mit einer Leidner Flasche verglich, welche entladen wird, wenn man die beiden Belegungen in leitende Verbindung bringt.

Mit lebhaftem Eifer wurde Galvani's Versuch überall wiederholt und bestätigt, ohne daß man Neues hinzugefügt oder den wahren Grund der Erscheinung ermittelt hätte, bis es Volta gelang, die Unrichtigkeit der Hypothese Galvani's darzuthun und die wahre Quelle der Elektricitätsentwicklung bei diesem Versuche nachzuweisen.

Es möchte scheinen, als ob Galvani's Verdienst um die Wissenschaft eben nicht so groß sey, indem er seine Entdeckung zufällig machte und eine unrichtige Theorie aufstellte. Freilich ist hier ein Zufall im Spiele; wäre aber Galvani ein weniger aufmerksamer Beobachter gewesen, so hätte er diese Zuckungen als zufällig übersehen. Er untersuchte aber sorgfältig alle Verhältnisse und nur dadurch gelang es ihm, das Faktum so zu constatiren, daß es für die Wissenschaft ein erfolgreiches wurde.

Der Zufall spielt überhaupt in der Geschichte der Wissenschaft nur eine untergeordnete Rolle; er erhält nur eine Bedeutung, wenn man ihn zu benutzen versteht. — Der Zufall bietet nur die Gelegenheit zur Entdeckung. Wenn dem Jäger ein Wild begegnet und er es erlegt, so ist auch hier ein Zufall im Spiele, ein schlechter Schütze aber oder ein Schütze ohne Schießgewehr würde den Zufall nicht benützen können.

Hätte Galvani seine Entdeckung einige Jahrzehende früher gemacht, so hätte sie schwerlich weitere Fortschritte in der Wissenschaft zur Folge gehabt, sie hätte als eine isolirte Thatsache dagestanden, die vielleicht bald wieder vergessen worden wäre. Nur durch die großen Fortschritte, welche die Elektricitätslehre eben erst gemacht hatte, wurde Galvani's Entdeckung der Anfang einer neuen Aera für die Naturlehre.

Fünfundzwanzigster Brief.

Fortsetzung des im vorigen Briefe besprochenen Gegenstandes.

Volta, welcher, wie erwähnt, Galvani's Versuche aufnahm, zeigte bald, daß man einen wesentlichen Umstand übersehen hatte, daß nämlich der Leitungsbogen zwischen den Muskeln und Schenkelnerven nothwendig aus zwei verschiedenen Metallen bestehen muß; er zeigte

mit Hülfe des erst kürzlich von ihm construirten Condensators, daß durch Berührung heterogener Metalle Elektricität entwickelt wird, daß die Zuckungen des Froschschenkels von der Elektricität herrühren, welche durch den Metallcontact erzeugt wird und nicht durch eine eigenthümliche thierische Elektricität.

Galvani's Ansicht sowohl wie Volta's Theorie fanden zahlreiche Anhänger, die eifrig bemüht waren, die Richtigkeit ihrer Meinung darzuthun. Dieser Streit führt zu einer festern Begründung der voltaischen Hypothese, die auch bald allgemein als die richtige angenommen wurde.

Bemüht, die Gesetze der Contact-Elektricität immer mehr zu erforschen, gelangte Volta zur Construction der nach ihm benannten Säule, welche er im Jahr 1800 bekannt machte.

Die Zeit jener Entdeckungen fällt mit den großen politischen Umwälzungen zusammen, welche auf die Schicksale der beiden berühmten Entdecker Galvani und Volta einen ganz verschiedenen Einfluß ausübten. Galvani verlor seine Stelle, weil er sich weigerte, der cisalpinischen Republik den Eid der Treue zu leisten; er versank in Armuth und Trübsinn. Zwar fanden sich später die republicanischen Regenten bewogen, wegen seines wissenschaftlichen Rufes ihn wieder in seine Professur einzusetzen, allein zu spät. Galvani starb von Kummer niedergedrückt im Jahr 1798, ohne seine Stelle wieder antreten zu können.

Volta dagegen wurde von Napoleon nach Paris gerufen, auf's Reichlichste mit Geldmitteln unterstützt, zum Mitglied des Instituts von Frankreich und Italien, zum Senator und zum Grafen ernannt. Im Jahre 1815 wurde er Director der philosophischen Studien zu Pavia und starb endlich in seiner Vaterstadt Como den 6. März 1826 im 81sten Jahre seines Lebens.

Anfangs war die Aufmerksamkeit der Physiker vorzugsweise auf die Spannungserscheinungen der nicht geschlossenen Säule und auf die physiologischen Wirkungen derselben gerichtet; bald aber wurde die Aufmerksamkeit der Naturforscher durch Nicholson und Carlisle nach einer andern Seite hin gewendet. Die erwähnten Gelehrten entdeckten nämlich schon im Jahre 1800 die Zerlegung des Wassers durch den Strom der voltaischen Kette.

Diese Entdeckung bildet eine Verbindungsbrücke zwischen den electrischen und chemischen Erscheinungen; Elektricität und Chemismus erscheinen nun in einem vorher kaum geahnten Zusammenhange.

Man fand bald, daß nicht allein Wasser durch den galvanischen Strom zerlegt wird, sondern auch andere Körper, daß aus Salzlösungen die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole ausgeschieden wird.

Humphry Davy, ein ebenso geistreicher Forscher als liebenswürdiger Character, zerlegte die Metalloxyde und im Jahr 1806 gelang es ihm auch, Kali und Natron, bisher für unzerlegbar gehaltene Stoffe, durch eine kräftige Säule zu zerlegen, zu zeigen, daß sie ganz analog zusammengesetzt sind wie die Oxyde, nämlich aus Sauerstoff und einem metallischen Körper.

Da nun dargethan war, daß die Alkalien und Erden nicht Elemente sind, wie man bisher glaubte, sondern Oxyde, so mußte natürlich die theoretische Chemie eine durchgreifende Veränderung erfahren, da sie einerseits durch die Entdeckung neuer Elemente bereichert und für die theoretischen Ansichten über Affinität durch die Beziehungen zwischen chemischer Affinität und elektrischer Anziehung ein neuer Standpunkt gewonnen war.

Es lag nun die Idee nahe, beide aus einem Princip abzuleiten und so entstanden die verschiedenen elektrochemischen Theorien, unter denen die von Davy, Berzelius und Gmelin die ausgezeichnetsten sind; wenn es auch bis jetzt noch nicht gelungen ist, die Richtigkeit einer dieser Theorien in der Art zu beweisen, daß sie allgemein als die wahre angenommen würde, so haben doch alle diese Theorien das große Verdienst, daß sie eine Masse sonst unzusammenhängender Erscheinungen unter einem gemeinsamen Gesichtspunkte vereinigen.

Nach einem in unsern Tagen oft auf die Spitze getriebenen Nützlichkeitsprincipe schenken Viele den Wissenschaften nur insofern eine gewisse Anerkennung, als sie praktische Resultate liefern; nur ihrer praktischen Resultate wegen scheint ihnen die Cultur der Wissenschaft gerechtfertigt. Ich will mich hier nicht auf eine Widerlegung dieser trostlosen, von allen höheren geistigen Interessen nichts ahnenden Anschauungsweise einlassen, sondern an den Einfluß, den die Entwicklung der Lehre vom Galvanismus auf die Technik gehabt hat, erinnern, um zu zeigen, wie es selbst im Interesse der Praxis liegt, auch solche Untersuchungen zu fördern, von welchen man nicht sogleich absehen kann, welchen praktischen Nutzen sie wohl noch gewähren können.

Es ist bekannt, wie man in der neuern Zeit die Zerlegung durch die Kette angewandt hat, um Metalle aus ihren Auflösungen auf

bestimmte Formen niederzuschlagen, wie es der Galvanoplastik gelungen ist, Medaillen, Basreliefs und — was für die Buchdruckerei und Kupferstecherkunst von unschätzbarem Werthe ist — selbst Holzschnitte und gestochene Kupferplatten mit allen Feinheiten des Originals zu vervielfältigen; wie die galvanische Vergoldung mehr und mehr die kostspieligere und wegen der Quecksilberdämpfe der Gesundheit nachtheilige Feuervergoldung entbehrlich macht. Wer hätte wohl gedacht, daß die Beobachtung der Zuckungen eines Froschschenkels in das praktische Leben eingreifende Resultate haben werde?

Sechsundzwanzigster Brief.

Fortsetzung.

Die Natur ist ein großes Ganze; alle Körper, alle Kräfte die in derselben wirken, stehen in einer gegenseitigen Beziehung zu einander und wenn wir die Naturwissenschaften in einzelne Theile zerlegen, so ist der Grund davon mehr in einer Unzulänglichkeit unserer geistigen Kräfte zu suchen, welche nicht im Stande sind das ungeheure Material alle aufzunehmen und zu verarbeiten, als in einer inneren Nothwendigkeit; die Zertheilung der Naturwissenschaft in einzelnen Branchen entspricht, wie Encke treffend bemerkt, dem Princip der Theilung der Arbeit, welches in der Industrie so ausserordentliche Leistungen möglich machte.

Die einzelnen Zweige der Naturwissenschaften stehen deßhalb auch in mannigfacher Beziehung zu einander, so daß fast jeder Fortschritt in dem einen auch Entwickelungen in dem andern zur Folge hat. Diese gegenseitigen Beziehungen treten immer deutlicher hervor, je mehr die einzelnen Zweige der Naturwissenschaften cultivirt und ausgebildet werden. In meinem vorigen Briefe habe ich angeführt, wie die Entdeckung des Galvanismus bedeutende Entwicklungen in der Chemie zur Folge hatte, und nun wollen wir uns zu den Beziehungen wenden, welche zwischen Elektricität und Magnetismus bestehen, Beziehungen, welche ebenfalls nur durch das Studium der Wirkungen galvanischer Ströme entdeckt wurden.

Lange schon hatte man einen innern Zusammenhang zwischen Elektricität und Magnetismus geahnt. Die beiden Erscheinungsreihen haben so viel Analoges, daß die Idee eines solchen Zusam-

menhanges nahe lag, diese Idee aber wurde noch durch die Erfahrung bestärkt, daß der magnetische Zustand der Compaßnadel durch Blitzschläge oft gänzlich verändert wurde. Man hatte lange Zeit vergebens versucht, durch statische Elektricität magnetische Wirkungen hervorzubringen, als Oersted im Jahr 1820 die Entdeckung machte, daß der galvanische Strom die Magnetnadel aus ihrer Gleichgewichtslage ablenkt; er eröffnet damit für die Forschung ein neues weites Feld, den Elektromagnetismus, auf welchem wir nun rasch wieder eine Reihe wichtiger Gesetze und Thatsachen erscheinen sehen. Es ergab sich, daß elektrische Ströme unter einander ähnliche Anziehungs- und Abstoßungserscheinungen zeigen wie die Magnete, und es gelang bald, die Wirkung der Magnete auf einander auf die gegenseitige Wirkung elektrischer Ströme zurückzuführen.

Die theoretische Entwicklung des Elektromagnetismus führte auch bald zu praktischen Anwendungen. Der elektrische Strom, welcher im Stande ist, die Magnetnadel abzulenken, kann auch, um ein weiches Eisen geleitet, dasselbe in einen temporären Magneten verwandeln; man kann auf diese Art die stärksten Magnete erzeugen. Durch die starke Tragkraft der Elektromagnete ist man auf den Gedanken gekommen, sie als bewegende Kraft anzuwenden. — Eine zweite praktische Anwendung des Elektromagnetismus sind die elektrischen Telegraphen; ich werde auf diese Gegenstände später zurückkommen.

So sehen wir denn, wie in kurzer Zeit eine große Menge neuer Thatsachen entdeckt, wie die Gesetze ihrer gegenseitigen Beziehungen ermittelt werden. Die Masse unsers Wissens auf dem Felde der Elektricitätslehre ist in kurzer Zeit unglaublich vermehrt worden.

Alle Forschungen, alle Entdeckungen haben uns aber doch noch nicht so weit geführt, daß wir die Frage beantworten könnten:

„Was ist Elektricität?“

Die Lehre von der Elektricität ist noch weit von dem Standpunkte entfernt, auf welchem gegenwärtig die Lehre vom Licht steht, denn es fehlt uns hier noch immer ein Princip, aus welchem sich die verschiedenen Erscheinungen der Elektricität ebenso vollständig der Art und Größe nach erklären lassen, wie die Lichterscheinungen aus der Undulationstheorie. Wir erklären zwar die Erscheinungen der Elektricität größtentheils durch die Annahme elektrischer Flüssigkeiten, allein diese Hypothese ist doch vielfach unwahrscheinlich, sie führt zu mannigfachen Widersprüchen, die wir zu lösen

nicht im Stande sind. Freilich liegt unsrer ganzen elektrischen Terminologie diese Hypothese zu Grunde, wir können sie vor der Hand nicht entbehren, ohne zu gleicher Zeit die Verständlichkeit zu verlieren, wir müssen, wenn wir uns nicht in einen Irrgarten unklarer, weitläufiger und vager Umschreibungen verlieren wollen, selbst um den Zusammenhang der Erscheinungen darzustellen, zu Hypothesen unsere Zuflucht nehmen, und die Hypothese der elektrischen Flüssigkeiten leistet uns hier wesentliche Dienste; eine spätere richtige Erkenntniß wird aber durch eine solche Terminologie nicht gehindert, wie wir bei der Lehre vom Licht sehen, wo die auf die Emanationstheorie basirte Terminologie die Entwicklung der Undulationstheorie keineswegs hinderte.

Wenn auch unsere Kenntnisse auf dem Felde der elektrischen Erscheinungen in den letzten Decennien sehr erweitert, wenn die Masse unseres Wissens hier sehr bereichert wurde, so ist doch mit jeder neuen Thatsache auch eine Reihe neuer Räthsel zu Tage gefördert worden. Unser Wissen ist bereichert worden, wie viel aber haben wir uns dem Ziele der Erkenntniß der letzten Gründe genähert? Ich glaube, jeder Naturforscher, welcher den Gang der inductiven Methode richtig versteht, wird zugestehen müssen, daß wir diesem Ziele noch nicht näher gekommen sind, und zwar selbst nicht in den ausgebildetsten Zweigen der Physik, und daß dieses Ziel für menschliche Kräfte wohl unerreichbares bleibt.

Das Verfolgen dieses Ziels hat der gründlichen Naturforschung stets im Wege gestanden, die Naturforschung begann erst dann Fortschritte zu machen, als man anfing, sich mit dem Näheren abzugeben und nicht mehr vergebens das in unerreichbarer Ferne Liegende erstrebte.

Die ausgezeichnetsten Forscher haben die Ansicht getheilt, daß unsere Erkenntniß der Natur stets nur eine relative, eine begränzte sey, daß über gewisse Gränzen hinaus unser Wissen aufhört und Hypothesen, Vorstellungen, Bilder an die Stelle der Gewißheit treten, was Haller so schön mit wenigen Worten zusammenfaßt, indem er sagt: „In's Innere der Natur dringt kein erschaffener Geist.“ Auf dem Wege der Naturforschung lernen wir die tiefe Wahrheit der Worte des Syraciden kennen, welcher sagt: „Schwer beurtheilen wir, was auf Erden ist, und was vor unsern Augen liegt, finden wir nur mit Mühe; was aber im Himmel ist, wer wird es erforschen?“

Es möchte wohl einer der größten Vorzüge seyn, welche das

Studium der Naturwissenschaften bietet, daß sie so sicher die Gränze bezeichnen, wo das Wissen aufhört und die Hypothese an seine Stelle tritt, daß sie klar die objective Wahrheit von der subjectiven Vorstellung trennen. In dieser Beziehung vorzugsweise haben die Naturwissenschaften eine philosophische Bedeutung; sie lehren uns unsere geistigen Kräfte gehörig würdigen, sie lehren uns sie nicht zu gering, aber auch nicht zu hoch anschlagen, sie schützen uns vor einer heutzutage allerdings sehr verbreiteten dünkelhaften Arroganz, welche ohne Weiteres über Alles abzuurtheilen sich berufen fühlt und die Bescheidenheit für die größte menschliche Schwäche hält.

Das Studium der Naturwissenschaften hat stets, ganz abgesehen von allem praktischen Nutzen, zur Entwickelung geistiger Bildung beigetragen, die Cultur der Naturwissenschaften wird stets die Verbreitung wahrer Humanität befördern.

Siebenundzwanzigster Brief.

Von den elektrischen Erscheinungen.

Die Erscheinungen der elektrischen Anziehung und Abstoßung waren Euler noch sehr unvollständig bekannt. Er stellt sich die Sache so vor, als ob ein leichter Körper durch den Druck der Luft gegen einen elektrischen Körper hingetrieben würde, weil durch die Strömung des Aethers, welchem er die elektrischen Erscheinungen zuschreibt, die Luft zwischen beiden verdünnt ist. Die Abstoßung betrachtet er eben nur als ein Abfallen des vorher angezogenen Körpers, eine förmliche Abstoßung scheint Euler noch nicht gekannt zu haben.

Ein leichter Körper, welcher von einem elektrischen Körper angezogen worden ist, wird nach kurzer Berührung mit demselben förmlich abgestoßen. Sie können sich davon leicht auf folgende Weise überzeugen. Schneiden Sie sich mit dem Federmesser ein Kügelchen aus Hollundermark, welches ungefähr zwei Linien im Durchmesser hat, hängen Sie dasselbe an einem Seidenfaden auf und nähern Sie ihm eine stark mit Tuch geriebene Siegellackstange, so wird es anfangs angezogen, alsbald aber abgestoßen und das kleine Pendel durch die abstoßende Kraft der Elektricität der Siegellackstange aus seiner Gleichgewichtslage fortgetrieben, wie dieß Fig. 27. angedeutet ist. Hier wirkt offenbar die Abstoßung der

Schwerkraft entgegen. Diese Erscheinung läßt sich durch die Eulersche Ansicht nicht erklären.

Fig. 27.

Hängt man zwei solcher Pendel dicht neben einander, so werden beide Kugeln von einer geriebenen Siegellackstange angezogen und nach der Berührung abgestoßen. Entfernt man die Siegellackstange, so sieht man, daß sich die beiden Kugeln immer gegenseitig abstoßen, indem die Pendel divergiren, wie dieß Fig. 28. angedeutet ist. Fände keine Abstoßung zwischen den beiden Kugeln statt, so würden die Pendel dicht nebeneinander herunterhängen, wie es durch die punktirte Linie angedeutet ist. In der That fallen auch die Pendel sogleich zusammen, wenn man die beiden Hollundermarkkügelchen mit der Hand berührt und ihnen dadurch ihre elektrischen Eigenschaften nimmt.

Fig. 28.

Wendet man zu diesen Versuchen statt der Siegellackstange eine Glasröhre an, die man mit einem seidenen Tuche reibt, so beobachtet man dieselben Erscheinungen; dennoch aber ist die Elektricität der Glasröhre anderer Natur als die der Siegellackstange und davon können Sie sich durch folgenden Versuch überzeugen.

Nähern Sie dem elektrischen Pendel Fig. 27., welches nach der Berührung mit der elektrischen Siegellackstange von demselben abgestoßen wird, eine mit Seide geriebene Glasröhre, so wird nur die Pendelkugel angezogen. Die Glasröhre zieht also das Kügelchen an, welches die Siegellackstange abstößt.

Von der Glasstange angezogen und mit derselben in Berührung gebracht, wird es alsbald auch von dieser abgestoßen, nun aber von der Siegellackstange angezogen.

Diese Versuche lehren uns, daß zwei mit derselben Elektricität geladene Körper sich abstoßen, daß aber ein Körper, welchem man die Glaselektricität mitgetheilt hat, vom elektrischen Siegellack, und daß ein mit der Elektricität des Siegellacks geladener Körper vom elektrischen Glase angezogen wird.

Um diese Erscheinungen zu erklären, nimmt man nun an, daß es zweierlei feine elektrische Flüssigkeiten gebe, welche in allen Körpern vorhanden sind. Enthält ein Körper beide Flüssigkeiten in gleicher Menge und in gleichmäßiger Vertheilung, so befindet er sich im

natürlichen Zustand, enthält er aber einen Ueberschuß der einen oder der andern Elektricität, so ist er elektrisch und kann die erwähnten Erscheinungen hervorbringen.

Die Theilchen einer und derselben elektrischen Flüssigkeit stoßen sich gegenseitig ab, während die Theilchen der einen die der andern anziehen.

Was man von diesen elektrischen Flüssigkeiten zu halten habe, darüber habe ich mich schon in meinem letzten Briefe ausgesprochen. Wenn auch die Existenz solcher Flüssigkeiten durchaus noch nicht ganz bewiesen ist, wenn sie auch sogar sehr zweifelhaft ist, so leistet uns doch diese Hypothese bei der Darstellung der elektrischen Erscheinungen große Dienste, und wir können dieselben nicht eher entbehren, bis eine bessere an ihre Stelle gesetzt worden ist.

Die Elektricität, welche das Glas durch Reiben mit Seide annimmt, nennt man *Glaselektricität* oder auch *positive* Elektricität; die einer geriebenen Siegellackstange *Harzelektricität* oder *negative* Elektricität.

Die Ausdrücke *positive* und *negative* Elektricität rühren daher, daß früher viele Physiker nur ein elektrisches Fluidum annahmen. Eine bestimmte Menge derselben muß nach ihrer Ansicht in jedem Körper enthalten seyn, welcher sich im natürlichen Zustande befindet; enthält er mehr, so ist er *positiv*, enthält er weniger, so ist er *negativ* elektrisch.

Nach dieser Ansicht lassen sich die Abstoßungserscheinungen nicht wohl erklären, sie wurde deßhalb auch später aufgegeben.

Dem von Euler schon angeführten Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern der Elektricität muß ich auch noch einige Erläuterungen zufügen. Wenn man eine auf einem Glasfuße ruhende Metallkugel mit Hülfe der Elektrisirmaschine elektrisch macht, so kann man sie mit einem Glasstab, mit einer Siegellackstange berühren, ohne daß sie ihre Elektricität verliert. Das Glas, die Siegellackstange leitet also die Elektricität nicht ab, sonst müßte sie ja auch durch den Glasfuß abgeleitet werden, auf dem die Metallkugel steht. Berührt man aber die Metallkugel mit einem Metallstab, den man in der Hand hält, so verschwindet augenblicklich alle Elektricität der Kugel, indem sie durch den Metallstab und den menschlichen Körper abgeleitet wird und in den Erdboden übergeht.

Dieser Versuch lehrt uns einerseits, daß durch einen Metallstab die Elektricität mit Leichtigkeit abgeleitet wird, durch einen Glas- und Harzstab aber nicht; andererseits sehen wir, daß die elektrische

Metallkugel durch den Metallstab mit einem großen Leiter, dem Erdboden in Verbindung gebracht, augenblicklich alle Elektricität abgibt. Einen elektrischen Glasstab, eine elektrische Siegellackstange kann man mit jedem beliebigen Körper berühren, ohne daß sie ihre Elektricität verlieren; sie wird ihnen höchstens an der berührten Stelle entzogen. Ein Glasstab kann an einem Ende elektrisch seyn, am andern nicht; ebenso eine Harzstange; die Elektricität verbreitet sich also nicht leicht über die ganze Oberfläche dieser Körper, sie haftet ziemlich fest an den gerade electrisch gemachten Stellen. Anders verhält es sich mit den Leitern der Elektricität. Theilt man einer isolirten Metallkugel (d. h. einer solchen die von lauter Nichtleitern umgeben ist, also auf einem Glasfuß steht, an einer Seidenschnur hängt u. s. w.) Elektricität mit, so verbreitet sie sich augenblicklich über ihre ganze Oberfläche. — Ableitend berührt verliert ein elektrischer Leiter seine Elektricität nicht allein an der berührten Stelle, sondern er verliert alle seine Elektricität.

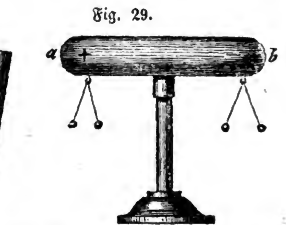
Achtundzwanzigster Brief.

Von der elektrischen Vertheilung.

Die Wirkungen elektrischer Körper in die Ferne, welche Euler durch eine elektrische Atmosphäre zu erklären versucht, die er aber noch sehr unvollständig kannte, lassen sich aus der auch in die Ferne wirkenden gegenseitigen Anziehung und Abstoßung der elektrischen Fluida erklären.

In Fig. 29. sey ab ein durch eine Glassäule isolirter Metallcylinder, welcher an seinen beiden Enden mit elektrischen Pendeln versehen ist, welche an Fäden hängen, die aus einer leitenden Substanz bestehen, etwa an Leinenfäden. Nähert man diesem Conductor von der einen Seite

Fig. 29.



eine stark elektrische Harzstange g oder einen andern elektrischen Körper, so divergiren die Pendel schon, wenn g noch so weit entfernt ist, daß an einen Uebergang der Elektricität von g auf den Conductor noch keine Rede seyn kann. Daß die Elektricität des Conductors ab, welche durch die Divergenz des Pendels sichtbar

wird wirklich nicht daher rührt, daß von g Elektricität übergegangen ist, geht daraus hervor, daß die Pendel augenblicklich wieder zusammenfallen, wenn der elektrische Körper g entfernt wird.

Die Erscheinung ist leicht zu erklären. Die negative Elektricität im Harzstab wirkt auf die noch verbundenen und gleichförmig verbreiteten Elektricitäten im Conductor; die positive wird angezogen, die negative wird abgestoßen. Die angezogene positive Elektricität strömt deßhalb nach dem Ende des Conductors, welcher dem negativ elektrischen g zunächst liegt, die negative Elektricität wird nach dem entferntesten Ende b des Conductors getrieben. Der genäherte elektrische Körper g wirkt also vertheilend auf die bis dahin verbundenen Elektricitäten des isolirten Leiters ab. Sobald g entfernt wird, vereinigen sich die durch seine Nähe getrennten Elektricitäten wieder, der Conductor ab kehrt wieder in seinen natürlichen Zustand zurück, die Pendel an beiden Enden fallen zusammen.

Wenn man, während der Conductor ab durch Vertheilung elektrisch ist, während also seine beiden Pendel divergiren, denselben in b ableitend berührt, so fallen die hier befindlichen Pendel zusammen, während die Divergenz der dem vertheilenden Körper g zugewendeten Pendel sogar noch zunimmt. Auch dieß erklärt sich leicht. Die von g abgestoßene negative Elektricität entfernt sich so weit als möglich, sie sammelt sich deßhalb im entferntesten Theile des Conductors, und wenn dieser ableitend berührt wird, so muß sie, noch weiter wegwandernd, den Conductor ganz verlassen. Während aber die — E auf diese Weise durch die leitende Verbindung aus dem Conductor in den Boden übergeht, strömt in entgegengesetzter Richtung positive Elektricität demselben zu, welche durch die anziehende Wirkung von g nach a hingezogen, hier die Pendel noch stärker divergiren macht als zuvor. Die positive Elektricität kann durch Berührung mit einem Leiter aus dem Conductor ab nicht abgeleitet werden, eben weil sie durch g angezogen in a zurückgehalten wird.

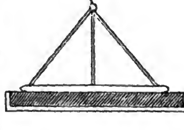
Bei Annäherung von g wird also ab durch Vertheilung elektrisch, man kann die durch g abgestoßene Elektricität aus ab ableiten, so daß nur noch die angezogene Elektricität im Conductor ab zurückbleibt; hebt man nun die ableitende Berührung auf, so daß ab wieder isolirt ist, entfernt man darauf den vertheilenden Körper g, so wird die durch die anziehende Wirkung von g in a angehäufte Elektricität sich über den ganzen Leiter ab verbreiten, welcher nur

mit einer einzigen Elektricität geladen ist, ohne daß eine Spur Elektricität von g aus auf ihn übergegangen wäre.

Die Wirkung der Elektrisirmaschine und des Elektrophors läßt sich auf die Elektricitätserregung durch Vertheilung zurückführen.

Ein Elektrophor besteht aus einem Harzkuchen, welcher auf eine Metallplatte gelegt oder in eine Metallform gegossen ist. Durch Schlagen mit einem Fuchsschwanz wird er negativ elektrisch. Setzt man nun auf den ganz ebenen, negativ elektrischen Harzkuchen eine Metallplatte (oder statt dessen eine mit Stanniol überklebte Holz- oder Pappscheibe, deren untere Fläche aber auch ganz eben seyn muß), die an Seidenschnüren so hängt, daß man sie gerade aufheben kann, wie dieß Fig. 30. angedeutet ist, so wird durch den vertheilenden Einfluß des Harzkuchens die positive Elektricität des Deckels auf die untere Fläche desselben gezogen, die negative auf seine obere Fläche getrieben. Hebt man den Deckel, ohne ihn zu berühren, an seinen seidenen Schnüren fassend, auf, so verbinden sich die beiden Elektricitäten wieder, der Deckel zeigt keine Spur von Elektricität. Berührt man aber den Deckel, während er auf dem Harzkuchen liegt, mit dem Finger, so entweicht die negative Elektricität, die angezogene positive bleibt allein im Deckel zurück, und wenn man ihn nun aufhebt, so ist er mit positiver Elektricität geladen und man kann einen Funken aus ihm ziehen.

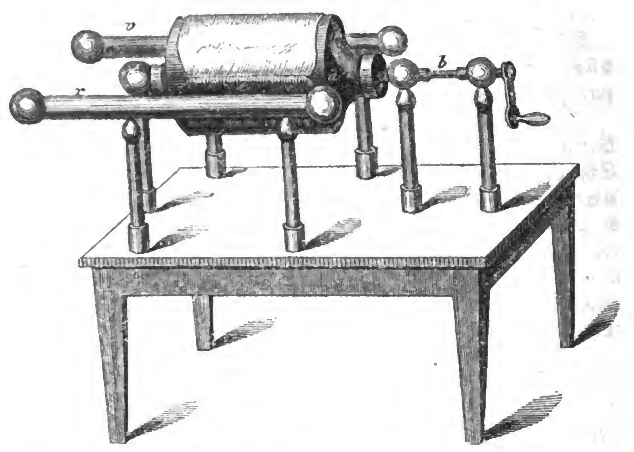
Fig. 30.



Da hier der Harzkuchen keine Elektricität an den Deckel abgibt, sondern nur vertheilend auf ihn wirkt, so wird ihm auch durch die angegebene Operation keine Elektricität entzogen, der Harzkuchen kann lange seine Ladung halten, und so ist ein solcher Apparat ein beständiger Elektricitätsträger, und daher der Name Elektrophor.

Die Elektrisirmaschinen construirt man gegenwärtig aus Glascylindern oder aus Glasscheiben, statt der früher üblichen Glaskugeln. Fig. 31. stellt eine Cylindermaschine dar; a ist ein Glascylinder, welcher um eine horizontale Axe b drehbar ist und seiner ganzen Länge nach bei der Umdrehung sich an einem Lederkissen reibt, welches mit Amalgam (einer Verbindung von Quecksilber und Zink) überzogen ist. Dieses Reibkissen ist an dem auf Glasfüßen stehenden Conductor r befestigt. Der Conductor v steht dem Kissen e diametral gegenüber, und ist an der dem Glascylinder zugekehrten Seite mit Spitzen versehen. Wenn der Cylinder ge-

Fig. 31.



dreht wird, so wird das Glas positiv, das Reibzeug negativ elektrisch; kommt nun das bei e positiv elektrisch gewordene Glas den Spitzen des Conductors v gegenüber zu stehen, so wirkt es zersetzend auf die noch verbundenen Elektricitäten dieses Conductors, die angezogene negative Elektricität strömt durch die Spitzen auf den Glascylinder über, im Conductor v bleibt also nur positive Elektricität.

Damit das Glas auf dem Wege vom Reibzeug e bis zu den Spitzen des Conductors v seine Elektricität nicht verliere, ist die obere Hälfte des Cylinders mit einem Stück Wachstaffent, einem Isolator, besetzt, welches an dem Reibzeug e befestigt ist. Auf dem Wege von v bis e ist das Glas im natürlichen Zustande.

Um eine starke Ladung positiver Elektricität auf dem Conductor r zu erhalten, muß man den Conductor r mit dem Boden in leitende Verbindung bringen, damit die negative Elektricität des Reibzeugs frei abströmen kann, was nöthig ist, wenn durch das fortgesetzte Reiben stets neue Elektricität erzeugt werden soll. Die auf dem Conductor v angehäufte positive Elektricität erhält auf diese Weise eine solche Spannung, daß die Funken schon auf mehrere Zoll Entfernung überspringen, wenn überhaupt die Maschine groß genug und zweckmäßig construirt ist. Die große Elektrisirmaschine des

polytechnischen Instituts in Wien, welche aber keine Cylinder-, sondern eine Scheibenmaschine ist, gibt zwei Fuß lange Funken.

Wenn man umgekehrt den Conductor v mit dem Boden in Verbindung setzt, den Conductor r hingegen isolirt läßt, so läßt sich dieser mit der negativen Elektricität des Reibzeugs laden.

Die Construction der Scheibenmaschinen beruht auf denselben Principien, nur ist die Form des geriebenen Glaskörpers eine andere.

Mittelst eines Funkens vom Conductor der Elektrisirmaschine kann man leicht-entzündliche Gegenstände, wie Schwefeläther entzünden.

Schon der kleinste Funke ist im Stande, Knallgas, d. h. ein Gemisch von Sauerstoff und Wasserstoff zu entzünden, und darauf beruht die Einrichtung der sogenannten elektrischen Pistole, welche Fig. 32. dargestellt ist. Ein Blechgefäß, welches oben einen kurzen, durch einen Kork verschließbaren Hals hat, ist an irgend einer Stelle, etwa bei b, durchbohrt und hier ein Glasröhrchen eingekittet, in welchem mit Siegellack befestigt ein Messingdraht steckt, der durch das Glasröhrchen und den Siegellack isolirt, durch die metallische Gefäßwand hindurchgeht, ohne sie zu berühren. Das Ende c dieses Drahtes ist von der gegenüberstehenden Gefäßwand noch etwa um $^1/_2$ Linie entfernt.

Fig. 32.

Der Apparat läßt sich leicht mit Knallgas füllen, nehmen Sie nur den Kork ab und lassen Sie eine Zeitlang das Gas aus einer Zündmaschine in den Hals einströmen; es befindet sich alsdann im Innern des Gefässes ein Gemisch von Wasserstoffgas und atmosphärischer Luft, also auch Knallgas, da ja die atmosphärische Luft Sauerstoffgas enthält. Ist der Apparat geladen, so wird der Kork wieder aufgesetzt.

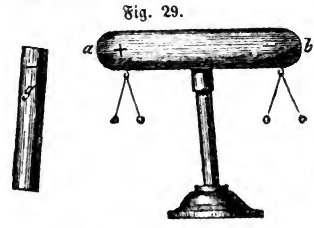
Läßt man nun vom Conductor der Elektrisirmaschine, während man das Blechgefäß in der Hand hält oder es sonst mit dem Boden in leitende Verbindung bringt, einen Funken auf die Kugel d überschlagen, so schlägt ein zweiter Funken von c durch das Knallgas auf die Blechwand über, welche das Gas entzündet und eine heftige Explosion veranlaßt, durch welche der Kork unter starkem Knall weggeschleudert wird.

Man hat dem Gefäß auch die Gestalt einer Kanone, einer Pistole u. s. w. gegeben, daher auch sein Name.

Neunundzwanzigster Brief.

Von der gebundenen Elektricität.

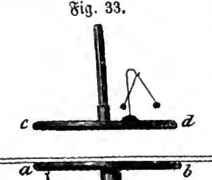
Fig. 29.

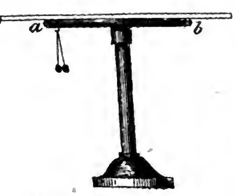


In meinem letzten Briefe habe ich bereits erwähnt, daß wenn man einen isolirten Leiter wie ab, Fig. 29. einem elektrischen Körper g nähert, daß alsdann ab durch Vertheilung elektrisch wird; die abgestoßene Elektricität kann man aus dem Conductor ab ganz ableiten, die angezogene Elektricität kann man ihm aber nicht entziehen, wenn man ihn auch ableitend berührt, weil sie durch die anziehende Wirkung der Elektricität des Körpers g in a zurückgehalten wird; die in a angesammelte Elektricität ist durch die in g befindliche gebunden. Erst wenn man g entfernt, wird die Elektricität in b wieder frei, sie verbreitet sich über den ganzen Leiter ab und kann nun demselben auch durch ableitende Berührung entzogen werden.

Die Bindung der Elektricität in b ist nur um so vollständiger, d. h. die Elektricität des Körpers g kann in b um so mehr Elektricität durch Bindung festhalten, je näher er herangerückt wird. In sehr große Nähe kann man ihn aber nicht bringen, weil alsdann ein Funken überspringt, indem die entgegengesetzten Elektricitäten sich vereinigen, was namentlich dann eintritt, wenn g ein isolirter elektrischer Leiter ist. Um also die Bindung durch möglichste Annäherung möglichst vollständig zu machen, muß man nur das Ueberschlagen eines Funkens verhindern, man muß also einen Isolator zwischen beide Körper einschalten, wozu sich eine Glastafel am besten eignet.

Fig. 33.





In Fig. 33. sey ab eine auf einem Glasfuß befestigte ebene Metallplatte, auf welche eine überragende Glasplatte gelegt ist; cd ist eine der unteren ganz gleiche Metallplatte, welche an einem Glasstiel befestigt ist. An der Metallplatte ab hängt ein Paar elektrischer

Pendel, deren Fäden aber von einer leitenden Substanz seyn müssen; man kann etwa Leinenfäden nehmen. Auf der oberen Seite von cd ist ein oben umgebogener Metalldraht befestigt, welcher ein ähnliches Pendelpaar trägt. Wenn man nun die Platte cd elektrisirt, entweder mit Hülfe des Elektrophors, oder der Elektrisirmaschine, so werden die Pendel der Platte cd divergiren. Setzt man nun cd auf die Glasplatte, so wirkt ihre (z. B. positive) Elektricität vertheilend auf die untere Platte, die — E wird an die obere Fläche von ab gezogen, die abgestoßene + E wird abgestoßen und macht die Pendel von ab divergiren. Berührt man nun die untere Platte ab ableitend mit dem Finger, so fallen die Pendel oben und unten zusammen.

Wir haben also gar keine sichtbaren Zeichen von Elektricität mehr, es scheint, als ob der Apparat gar keine elektrische Ladung mehr habe; daß dem aber nicht so sey, daß er noch Elektricität enthält, geht daraus hervor, daß beide Pendelpaare sogleich wieder divergiren, sobald man die obere Platte cd, an dem sie isolirenden Glasstab anfassend, in die Höhe hebt. — Setzt man sie wieder auf die Glastafel auf, so fallen die Pendel wieder zusammen.

Um diese Versuche anzustellen, thun Sie am besten, die Metallplatte cd durch einen Funken des Elektrophordeckels zu laden.

Bei dem Aufsetzen der oberen Metallplatte verschwinden deßhalb die Zeichen von Elektricität aus dem oberen Pendelpaare, weil die positive Elektricität von cd durch die Glasplatte hindurch wirkend die negative anzieht, die positive abstößt. Wegen der Abstoßung der positiven Elektricität divergirt Anfangs das untere Pendelpaar, es fällt aber zusammen, sobald man ab ableitend mit dem Finger berührt, weil alsdann die abgestoßene + E gleichsam ganz abzieht. Die von der oberen Platte angezogene — E wird sich aber auf der oberen Fläche von ab ansammeln und von da auf die + E der oberen Platte zurückwirkend dieselbe nach der unteren Fläche von cd herabziehen. Obgleich also in cd positive und in ab negative Elektricität vorhanden ist, so wird sie doch in den Pendeln nicht merklich, weil sie sich in den gegenüberstehenden Flächen der beiden Metallplatten anhäuft, indem die Elektricität einer jeden Platte durch die Anziehung der entgegengesetzten Elektriciät in den andern nach der Glasplatte hingezogen wird. An den mit der Glastafel in Berührung befindlichen Flächen der Metallplatten ab und cd ist die Elektricität gebunden; sie verbreitet sich nicht frei

über die ganze Platte und die Pendel, weil sie durch eine anziehende Kraft an der erwähnten Stelle zurückgehalten wird.

Hebt man aber die obere Platte ab, so hört die gegenseitige Wirkung der beiden Platten auf, es ist keine Kraft mehr vorhanden, welche die + E an die untere Fläche von cd und die — E an die obere von ab zieht, die Elektricität jeder Platte verbreitet sich wieder frei über dieselbe und deßhalb divergiren die Pendel wieder in beiden Platten, wenn man die oberen abhebt.

Wenn die Bindung der Elektricität in der einen Platte vollständig seyn soll, so muß sich auf der andern ein Ueberschuß von Elektricität befinden und daher wird es auch leicht kommen, wenn man dem Apparat eine etwas starke Ladung ertheilt hat, daß in derjenigen Platte, in welcher sich gerade ein Ueberschuß von Elektricität befindet, dieser Ueberschuß stark genug ist, um die Pendel dieser Platte etwas divergiren zu machen. Berührt man die eine Platte, etwa die untere, ableitend mit dem Finger, so wird alle auf ihr etwa nicht ganz gebundene Elektricität abgeleitet und dadurch auch wieder etwas Elektricität auf der andern frei, so daß nur die Pendel der oberen divergiren; berührt man nun die obere Platte ableitend mit dem Finger, so fallen ihre Pendel zusammen, weil ihre freie Electricität abgeleitet wird, während die der unteren divergiren, weil jetzt in der unteren Platte ein Ueberschuß von Elektricität ist; berührt man nun wieder die untere Platte ableitend mit dem Finger, so fallen ihre Pendel wieder zusammen, die oberen divergiren wieder u. s. w. Auf diese Weise kann man abwechselnd der einen und der anderen Platte ihre freie Elektricität entziehen. Die Divergenz der Pendel hört auf, sobald die in der nicht berührten Platte sich noch befindende freie Elektricität nicht mehr stark genug ist, die Pendel auseinander zu treiben; die Divergenz beider Pendelpaare tritt aber wieder ein, wenn durch Abheben der Platte alle Elektricität wieder frei wird.

Durch abwechselnde Berührung der einen und der andern Platte kann man den Apparat allmählig ganz entladen; verbindet man aber die beiden Platten durch einen Leiter, so wird der Apparat auf einmal entladen, weil jetzt die entgegengesetzte Elektricität der beiden Platten auf diesem Wege zu einander übergehen.

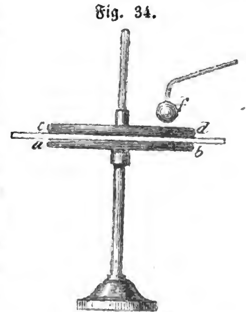
Die eben besprochenen Erscheinungen führen uns zu der Erklärung der Wirkung der Leidner Flasche, die ich in meinem nächsten Briefe besprechen werde.

Dreißigster Brief.

Von der Leidner Flasche.

Nehmen wir den im vorigen Briefe besprochenen Apparat wieder zur Hand. Die obere Metallplatte sey auf die Glastafel gesetzt, die untere vollständig isolirt. Zwei bis drei Linien über der oberen Platte befinde sich eine Metallkugel, welche durch einen dicken Draht oder einen Metallstab mit dem Conductor der Maschine in leitender Verbindung steht. Sobald nun die Maschine gedreht wird, springen Funken auf die obere Platte über, welche bald kleiner und schwächer werden, sobald auf cd eine hinlängliche Menge Elektricität sich befindet. Diese Elektricität ist frei, weil ja auf der unteren Platte noch beide Elektricitäten befindlich sind. Sobald man aber nun die untere Platte ableitend berührt, so

Fig. 34.



daß die abgestoßene Elektricität aus derselben entweichen und sie sich mit der angezogenen laden kann, so wird die Elektricität der oberen Platte gebunden, sie ist nicht mehr frei über die ganze Platte verbreitet; es kann deßhalb von Neuem von der Kugel f Elektricität auf die Platte cd übergehen. Die neu von f übergegangene Elektricität bindet oben abermals eine Quantität der entgegengesetzten auf der unteren Platte, die dann wieder bindend auf die obere zurückwirkt, und so kann man dann, eben wegen der gegenseitigen Bindung eine große Menge entgegengesetzter Elektricitäten anhäufen.

Darauf beruht denn nun auch die Wirkung der Leidner Flasche; die älteste Form derselben hat Euler schon beschrieben (17. Brief, S. 44.); es ist ein Glasgefäß zum Theil mit Wasser gefüllt in das Wasser eines größeren Gefässes gesetzt; das Wasser im Glasgefäß ersetzt die obere, das äußere Wasser die untere Metallplatte des Apparates, Fig. 34., die Glasplatte ist durch die Glasflasche ersetzt. In beiden Fällen haben wir zwei Leiter, mit entgegengesetzter Elektricität geladen, durch eine isolirende Glasschicht getrennt.

Das Wasser ist zwar ein Leiter der Elektricität, doch ungleich schlechter als Metalle, man hat deßhalb später das Wasser innerhalb und außerhalb der ursprünglichen Leidner Flasche durch eine me-

tallische Belegung ersetzt und so sind die Leidner Flaschen entstanden, wie man sie gegenwärtig anwendet. — Gewöhnlich verwendet man zu Leidner Flaschen sogenannte Zuckergläser, welche eine so weite Oeffnung haben, daß man bequem mit der Hand hineinfahren kann; der untere Theil dieser Gläser wird nun Innen und Außen mit Stanniol überzogen; der obere Rand bleibt mehrere Zoll weit unbelegt, so weit sonst die Elektricität zu leicht von einer Belegung zur andern an den Rand überschlagen würde. Die Oeffnung des Gefässes ist von einem Holzdeckel verschlossen, durch dessen Mitte ein Metallstab herabgeht, der unten mit der inneren Belegung in leitender Verbindung steht, oben aber mit einem Metallknopf endigt.

Um die Flasche zu laden, bringt man den erwähnten Knopf oder den Metallstab, also die innere Belegung mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung, während die äußere Belegung mit dem Boden in leitender Verbindung steht.

Je größer eine solche Flasche, je größer also die belegte Oberfläche einer solchen Flasche ist, desto mehr Elektricität kann auf ihn angehäuft werden, desto stärker sind also auch die Wirkungen des Entladungsschlages. Um sehr starke Wirkungen zu erhalten, wendet man deßhalb mehrere Flaschen an, deren äußere Belegungen mit einander in leitender Verbindung stehen, während auch alle inneren Belegungen mit einander verbunden sind. Eine solche Verbindung mehrerer Flaschen heißt eine *elektrische Batterie*.

Nun sollte man wohl glauben, daß man schon in einer einzigen Leidner Flasche bis in's Unendliche Elektricität anhäufen könnte, weil jede neue Quantität von Elektricität, welche man der inneren Belegung zuführt, auch wieder entgegengesetzte Elektricität auf der äußeren Belegung bindet, und diese wieder bindend auf die innere zurückwirkt; doch ist dem nicht so, aus mehreren Gründen kann die Ladung einer Flasche nicht über gewisse Grenzen hinaus getrieben werden.

Die Bindung ist um so vollständiger, je näher die beiden Belegungen einander sind, je dünner das Glas ist; bei fortgesetzter Ladung wird aber die gegenseitige Anziehung der entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Belegungen so groß, daß die isolirende Glasschicht durchbrochen wird. Ist dieß geschehen, so ist natürlich die Flasche nicht mehr brauchbar.

Ist das Glas stärker, so kann die Ladung endlich so stark werden,

daß die Elektricität über den unbelegten Glasrand herumschlägt und so eine Selbstentladung der Flasche erfolgt.

Wenn aber auch das Glas dick genug ist, um einer Durchbrechung zu widerstehen, wenn auch der unbelegte Glasrand so breit ist, und so gut isolirt, daß keine Selbstentladung eintreten kann, so gibt es doch eine bestimmte Gränze der Ladung, wie sich aus folgender Betrachtung ergibt.

Damit die Elektricität auf der äußeren Belegung vollständig gebunden sey, muß auf der inneren Belegung stets ein Ueberschuß von freier Elektricität seyn. In welchem Verhältniß die freie überschüssige Elektricität zu der gebundenen Elektricität auf der innern Belegung steht, hängt von der Dicke des Glases ab. Nehmen wir z. B. an, sie stände im Verhältniß von 2 zu 8, so also, daß wenn auf der inneren Belegung eine elektrische Quantität 10 sich befindet, auf der andern Seite die Quantität 9 vollständig gebunden ist und diese dann wieder die Quantität 8 auf der innern Belegung vollständig bindet. Wenn diese Flasche dadurch geladen wird, daß man ihre innere Belegung mit dem Conductor der Maschine, die äußere mit dem Boden in leitende Verbindung setzt, so wird sich auf der inneren Belegung stets mehr Elektricität befinden, als auf der äußeren. Ein Theil der inneren, und zwar in unserm Beispiel $^2/_{10}$, ist frei, die übrigen $^8/_{10}$ sind durch die äußere Elektricität gebunden.

Nehmen wir nun an, die äußere Belegung sey isolirt, so wird alle auf die innere Belegung geleitete Elektricität frei seyn; man kann jetzt aber nur eine begränzte Menge von Elektricität vom Conductor auf die innere Belegung überführen, die wir mit **E** bezeichnen wollen. Ist nun aber die äußere Belegung nicht isolirt, so wird die Gränze der Ladung erreicht seyn, wenn die Menge der freien Elektricität auf der inneren Belegung ebenfalls wieder **E** ist. Alsdann ist aber irgend ein Vielfaches, in unserem Beispiel die vierfache Menge von **E**, auf der inneren Belegung gebunden, und in Allem also fünfmal so viel Elektricität auf der inneren Belegung vorhanden, als man auf die innere Belegung bringen könnte, wenn die äußere isolirt wäre.

Ist einmal diese Gränze erreicht, so wird durch ferneres Drehen der Maschine die Ladung nicht mehr verstärkt, die Ladung wird alsdann nur auf diesem Grade erhalten, während die elektrische Ladung der Flasche allmählig wegen der nie absolut vollkommenen Isolation abnehmen würde, wenn die Flasche von der Maschine

getrennt würde. Ist also die Gränze der Ladung erreicht, so wird durch ferneres Drehen der Maschine gerade soviel Elektricität der Flasche zugeführt, als sie wegen der mangelhaften Isolation, also deßhalb verliert, weil die freie Elektricität der inneren Belegung sich allmählig in die Luft verbreitet.

Einunddreißigster Brief.

Wirkungen des Entladungsschlages der Leidner Flasche.

Die Wirkung des Entladungsschlages der Leidner Flasche auf den menschlichen Körper hat Euler schon beschrieben, und es war dieß in der That die erste Wirkung des Entladungsschlages, welche man beobachtet hatte. Wenden wir uns nun zu den andern Wirkungen desselben.

Schaltet man in den Schließungsbogen (die Reihe der Körper, welche die leitende Verbindung der beiden Belegungen herstellen sollen) an irgend einer Stelle einen kurzen, sehr dünnen Metalldrath ein, so also, daß der Entladungsschlag durch diesen dünnen Drath hindurchgehen muß, so wird derselbe erwärmt. Die Stärke der Erwärmung wächst mit der Stärke der Ladung und unter übrigens gleichen Umständen wird ein Drath um so stärker erwärmt, je dünner er ist.

Wenn die Stärke des Entladungsschlages hinlänglich erhöht wird, wozu man schon eine Batterie anwenden muß, wenn man nicht sehr große Flaschen zur Disposition hat, so treten noch mechanische Wirkungen zu diesen Wärmeerscheinungen hinzu. Durch immer gesteigerte Entladungsschläge wird der Drath heftig erschüttert, es werden von seiner Oberfläche Theilchen losgerissen, welche sich in Gestalt eines dichten Dampfes von ihm erheben, der Drath erhält Einbiegungen, als ob sie mit einem kantigen Instrument gemacht wären, der Draht kommt in's Glühen.

Während schwächere Ladungen den Drath nur rothglühend machen, wird er durch stärkere weißglühend; bei noch mehr gesteigerten Entladungsschlägen wird der Drath, je nach der Stärke der Ladung, zersplittert, geschmolzen oder endlich zerstäubt. Drähte leichter, oxydirbarer Metalle, wie Eisen, verbrennen, indem die glühenden Kügelchen unter lebhaftem Funkensprühen umhergeschleudert werden.

Alle diese Erscheinungen deuten auf ein gewaltsames Eindringen der Elektricität in die Masse des Drahtes hin.

Ein in den Schließungsbogen eingeschalteter Isolator kann bei hinlänglich gesteigerter Ladung durchbrochen, zerschmettert werden. So kann man leicht mehrere Kartenblätter durch den elektrischen Schlag durchbohren, ja selbst Glas läßt sich durchschlagen.

Fig. 35.

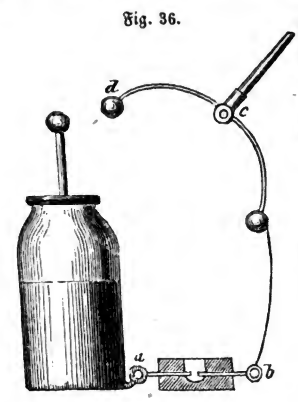
Das Durchbrechen der Flasche selbst ist ein dem Experimentator unwillkommenes Beispiel vom Durchschlagen des Glases, weil eine solche durchbrochene Flasche nicht mehr brauchbar ist. Um eine Glasplatte zu durchbohren, legt man sie mit ihrem Rande auf eine isolirende Unterlage, richtet eine Metallspitze von unten her gegen die Platte, dieser genau gegenüber eine zweite von oben her, gießt etwas Oel auf die obere Fläche des Glases, damit der Entladungsschlag nicht um den Rand der Glastafel herumgehe, sondern durch dieselbe hindurchgehen muß. Die untere Metallspitze a steht mit der äußeren Belegung in leitender Verbindung. Die Platte wird durchschlagen, wenn man die obere Spitze vermittelst des sogenannten Ausladers rasch mit dem Knopfe der inneren Belegung einer stark geladenen Flasche in Verbindung bringt.

Zum Durchschlagen eines Glases wendet man am besten Leidner Flaschen von sehr dickem Glase an, indem mit solchen Flaschen der Versuch schon mit schwachen Ladungen gelingt.

Daß man durch den Funken, welcher beim Entladen einer Leidner Flasche oder einer elektrischen Batterie überspringt, brennbare Körper anzünden kann, versteht sich von selbst, da ja schon der einfache Funke des Conductors der Elektrisirmaschine solche Wirkungen hervorbringen kann. Um Schießpulver durch den Entladungsschlag anzuzünden, hat man schon eine starke Ladung nöthig; außerdem muß man aber, wenn der Versuch gelingen soll, noch einige andere Vorsichtsmaßregeln beobachten.

In ein Holzklötzchen wird eine Vertiefung zur Aufnahme des Pulvers gemacht, in welche von beiden Seiten her etwas dicke Metalldrähte so hineinragen, daß ihre etwas abgerundeten Enden etwa um eine Linie von einander abstehen. Aussen sind diese Drähte am besten mit kleinen Ringen versehen. Von a führt ein Metalldraht

Fig. 36.



oder eine Metallkette zur äußeren Belegung der Batterie; bei b ist eine etwa 1 bis 2 Fuß lange, feuchte Schnur angeknüpft, deren anderes Ende an dem Auslader befestigt ist. Die Entzündung findet statt, wenn man, den Auslader an dem Glasstab c haltend, die Kugel d mit der Kugel der inneren Belegung in Berührung bringt.

Die feuchte Schnur verzögert etwas die Entladung, was hier zum Gelingen des Versuchs nöthig ist. Ohne diese Schnur wird das Pulver auseinander geschleudert, ohne entzündet zu werden.

Zweiunddreißigster Brief.

Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche leitender Körper, Wirkung der Spitzen.

Wenn man einem isolirten Leiter Elektricität mittheilt, so verbreitet sich dieselbe nur auf seiner Oberfläche, weil die Theilchen des elektrischen Fluidums in Folge ihrer gegenseitigen Abstoßung sich möglichst weit von einander zu entfernen streben und nicht in das Innere des Körpers eindringen können, ohne sich einander zu nähern.

Wenn man eine isolirte Metallkugel elektrisirt, so verbreitet sich die Elektricität ganz gleichförmig auf der ganzen Oberfläche, denn es ist keine Ursache vorhanden, warum sich das elektrische Fluidum an einer Stelle mehr anhäufen sollte, als an einer andern.

Ist jedoch der isolirte Leiter nicht kugelförmig, so ist die Sache anders; eben weil die Theilchen desselben elektrischen Fluidums sich gegenseitig abstoßen, und sich deßhalb so weit als möglich von einander zu entfernen streben, wird sich die Elektricität besonders an den Stellen anhäufen, welche von der Mitte des Körpers am mei-



Fig. 37.

sten entfernt sind. In einem cylindrischen Leiter z. B., wie einer Fig. 37. dargestellt ist, wird sich die Elektricität am stärksten auf den Enden a und b anhäufen, während in der Mitte die Elektricität weit weniger dicht ist.

Auf jeder Hervorragung eines isolirten Leiters wird sich deßhalb auch die Elektricität vorzugsweise anhäufen, und zwar um so stärker, je freier sie hervorragt, und je spitziger sie ist. Je mehr aber die Elektricität auf einem Punkte angehäuft ist, desto leichter geht sie in die Luft über, und daher kommt es, daß aus einer Spitze, welche man an einem isolirten Leiter anbringt, die Elektricität sehr leicht ausströmt.

Setzt man auf den Conductor einer Elektrisirmaschine eine Spitze, so kann man denselben nicht mehr laden, namentlich wenn man der Spitze einen mit dem Boden in leitende Verbindung stehenden Leiter entgegenhält, weil die Elektricität, welche durch das Drehen der Maschine erzeugt wird, alsbald wieder durch diese Spitze ausströmt.

Will man also auf einem isolirten Leiter Elektricität anhäufen, so muß man dafür sorgen, daß alle Ecken möglichst abgerundet sind, daß der Conductor keine hervorstehenden Spitzen und Kanten hat.

Hält man dem Conductor der Elektrisirmaschine eine Metallspitze entgegen, welche man in der Hand hält, und welche eben dadurch mit dem Boden in leitender Verbindung steht, so kann man den Conductor ebenfalls nicht mehr laden, man kann keinen Funken mehr aus ihm ziehen. Die (wie wir als Beispiel annehmen wollen) positive Elektricität der Kugel wirkt vertheilend auf die Metallspitze und die Hand, die abgestoßene + E kann frei in den Boden entweichen, während die angezogene — E in der Spitze angehäuft, aus dieser durch die Luft zum Conductor überströmt, so wird denn alle Elektricität, welche durch Drehen der Maschine dem Conductor mitgetheilt wird, alsbald wieder durch die aus der Spitze überströmende Elektricität wieder neutralisirt, und so kann denn auf dem Conductor keine zum Ueberschlagen eines Funkens hinlängliche elektrische Spannung auf den Conductor erhalten werden.

In Fig. 38. sey ein Metalldraht dargestellt, welcher, oben mit einer Spitze endigend, unten mit einer Kugel b versehen ist. Dieser Draht wird durch einen Glasstab getragen. Der Kugel b steht in



Fig. 38.

einiger Entfernung (1 bis 2 Linien) eine Metallplatte gegenüber, welche mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Wird nun der Conductor der Maschine elektrisch, so strömt von a negative Elektricität auf den Conductor über, die abgestoßene +E sammelt sich in der Kugel. Während bei a ein continuirliches Ausströmen stattfindet, findet aber zwischen b und c nur dann ein Uebergang von Elektricität in Gestalt eines Funkens statt, wenn die Elektricität hier stark genug angehäuft ist; zwischen b und c schlagen also Funken über, während dieß zwischen a und dem Conductor nicht stattfindet.

Die abgestoßene +E geht von b nach c, während umgekehrt negative Elektricität von c nach b überspringt, um dann von der Spitze a auf den Conductor überzuströmen.

Diese Erscheinungen der Spitzen erklären uns die Wirkung der Blitzableiter.

Dreiunddreißigster Brief.

Von der atmosphärischen Elektricität.

In seinen Briefen spricht Euler schon von der Elektricität der Gewitterwolken, und gibt auch schon eine Beschreibung des Blitzableiters; sonderbarer Weise aber erwähnt er mit keiner Silbe des Mannes, welcher die Elektricität der Gewitterwolken zuerst bewiesen, und welcher den Blitzableiter erfunden hat.

Otto v. Guerike, der berühmte Erfinder der Luftpumpen, war der erste, welcher den elektrischen Funken beobachtete, und dabei das den elektrischen Funken begleitende, eigenthümliche Geräusch wahrnahm. Der Versuch wurde bald auch von Andern wiederholt, und merkwürdiger Weise wurden die ersten, durch Menschenhände hervorgebrachten elektrischen Funken auch sogleich mit dem Blitz, das Knacken mit dem Donner verglichen. —

Die Analogie war überraschend; um aber ihre Wahrheit zu beweisen, um aus einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze eines der großartigsten Phänomene der Natur zu erkennen, bedurfte es noch directer Beweise. Während man in Europa noch

darüber hin und her stritt, ob wohl der Blitz wirklich eine elektrische Erscheinung sey, wurde in Amerika der experimentale Beweis geliefert.

Nachdem Franklin mehrere elektrische Entdeckungen, besonders über die Leidner Flasche und das Vermögen der Spitzen, die Elektricität auszustrahlen und einzusaugen gemacht hatte, kam er auf den glücklichen Gedanken, die Elektricität in den Gewitterwolken selbst aufzusuchen; er schloß nämlich, daß Metallspitzen, auf hohen Gebäuden aufgestellt, die Elektricität der Wolken aufsaugen müßten. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals in Philadelphia aufgebaut werden sollte; endlich aber, des Wartens müde, nahm er zu einem andern Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben mußte.

Da es ja nur darauf ankam, einen Körper hoch in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, daß ein Drache, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könne, wie der höchste Thurm. — Er benutzte das erste Gewitter, um einen Versuch zu machen. — Nur von einer Person, seinem Sohne, begleitet, weil er fürchtete, sich lächerlich zu machen, wenn der Versuch mißglückte, begab er sich in's Freie und ließ den Drachen steigen. Eine Wolke, welche viel versprach, zog vorüber, ohne eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, er bemerkte keinen Funken, kein Anzeichen von Elektricität. — Endlich fingen die Fasern der Schnur an, sich aufzustellen, und es ließ sich ein Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funke sprang über, dem bald mehrere folgten.

Franklin hatte seinen Versuch im Juni 1752 angestellt; er wurde überall mit demselben Erfolge wiederholt. De Romas, ein Franzose, war, durch den ersten Gedanken Franklin's geleitet, ebenfalls auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden. Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er die glückliche Idee hatte, in der Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht anzubringen. Im Jahr 1757 wiederholte de Romas seine Versuche, und erhielt Funken von überraschender Größe. „Man denke sich," sagt er, „einen Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuß Länge und 1 Zoll Dicke, von einem Krachen begleitet, welches eben so stark, ja stärker ist, als ein Pistolenschuß. In weniger als einer Stunde erhielt ich

wenigstens dreißig solcher Funken, viele andere gar nicht zu zählen, welche nur 7 und weniger Fuß lang waren."

Aller Vorsichtsmaßregeln ungeachtet wurde de Romas einmal von der Heftigkeit des Schlages niedergeworfen.

Durch diese Versuche ist nun die Elektricität der Gewitterwolken nachgewiesen, es ist dargethan, daß Blitz und Donner nur ein elektrischer Funke und der ihn begleitende Knall in großem Maaßstabe sind. Aber, werden Sie fragen, woher kommt das Rollen des Donners? Der Donner ist ja durchaus nicht ein blos verstärkter Knall! Man hat das Rollen des Donners durch ein Echo in den Wolken zu erklären versucht, doch reicht diese Erklärung nicht aus; die richtige Erklärung aber liegt sehr nahe und ist zugleich sehr einfach. Die Blitze haben meistens eine außerordentliche Länge; wie man am deutlichsten sieht, wenn man, auf einem hohen Berge stehend, ein Gewitter unter sich hat. Ein solcher Blitz ist wohl nicht als ein einziger Funken, sondern als eine Reihe kleinerer, zwischen den einzelnen Wolkentheilchen überschlagender Funken. Alle diese Elementarfunken, wie ich sie nennen will, sind aber gleichzeitig, der den Funken begleitende Schall entsteht gleichzeitig auf der ganzen Länge des Blitzes; der Beobachter kann aber diese gleichzeitigen Schläge nicht gleichzeitig hören, weil er nicht gleichweit von allen Punkten des Blitzes entfernt ist. Nehmen wir an, ein Blitz schlage zwischen a und b über, welche Punkte 1/2 Meile, also ungefähr 11,000 Fuß von einander entfernt sind; ein Beobachter befinde sich in c, so ist er dem Punkte a um nahezu 11,000 Fuß näher als dem Punkt b; würden in a und b gleichzeitig Kanonen gelöst, so würde man in c den Knall der letztern um 10 Sekunden später hören, weil sich der Schall in einer Sekunde nur um 1050 Fuß fortpflanzt, also zu einem Weg von 11,000 Fuß 10 Sekunden braucht. Wenn nun gleichzeitig auf allen Punkten der Linie ab ein Knall entsteht, so wird der Beobachter ein 10 Sekunden lang anhaltendes Rollen wahrnehmen, weil der Schall von den einzelnen Punkten von ab um so später sein Ohr trifft, je weiter sie entfernt sind.

Fig. 39.

a b c

Vierunddreißigster Brief.

Von der Wirkung der Blitzableiter.

Franklin, welcher die Elektricität der Gewitterwolken nachgewiesen hat, ist auch der eigentliche Erfinder des Blitzableiters. Die Einrichtung desselben ist Ihnen bekannt, ich habe also nur noch Einiges über seine Wirkung zu sagen. — Wenn eine elektrische Wolke sich über dem Blitzableiter befindet, so wirkt sie vertheilend; die abgestoßene Elektricität geht durch die metallische Leitung in den feuchten Boden über, die angezogene wandert nach der Spitze des Blitzableiters hin, von welcher sie nach der elektrischen Wolke ausströmt und dadurch dieselbe neutralisirt oder wenigstens ihre elektrische Spannung vermindert; wir haben also hier im Großen ganz dieselbe Erscheinung, wie wenn man eine Metallspitze gegen den Conductor der Elektrisirmaschine kehrt; hier wird ebenfalls die Ladung des Conductors, wenn auch nicht immer ganz aufgehoben, doch bedeutend geschwächt; die Elektricität strömt allmählig über, so daß durch die Wirkung der Spitzen das Ueberschlagen der Funken verhindert wird.

Die Hauptwirkung des Blitzableiters geht also dahin, durch das beständige Ueberströmen der Elektricität eine explosive Entladung der Gewitterwolke zu verhindern.

Soll der Blitzableiter gut seyn, so sind folgende Bedingungen erfüllt worden:

Erstens muß er oben sehr scharf zugespitzt seyn; weil nun eiserne Spitzen durch den Einfluß der Witterung leicht stumpf werden, so werden sie vergoldet. In Frankreich sind die Spitzen der Blitzableiter von Platin verfertigt. Wenn die Spitzen abgestumpft sind, und dadurch das Ausströmen erschwert ist, so kann der Blitzableiter nicht mehr so gut das Ueberschlagen des Blitzes verhindern.

Zweitens muß eine vollkommen metallische Leitung von der Spitze bis in den feuchten Boden führen. Gewöhnlich ist die Leitung durch Eisenstangen oder durch ein Seil von Kupferdraht gebildet, welches, unten in den Boden eingegraben, zu einem Brunnen oder irgend einer feuchten Stelle führt. — Wenn die Leitung unterbrochen ist, so treten ganz ähnliche Erscheinungen ein, wie sie am Apparat Fig. 38. beobachtet worden, von welchem ich Ihnen im ersten Brief schrieb; bei einer solchen Unterbrechung der Leitung können Funken überschlagen, selbst wenn kein Blitz von der Wolke

zum Blitzableiter überschlägt; eine solche Unterbrechung der Leitung ist im höchsten Grade gefährlich, wie Richmann's Schicksal beweist, von welchem schon Euler in seinen Briefen erzählt.

Wenn an irgend einer Stelle des Blitzableiters die Leitung unterbrochen ist, so ist es viel schlimmer, als wenn gar kein Blitzableiter vorhanden wäre, eben weil es an der Unterbrechungsstelle einschlagen kann, ohne daß noch ein Blitzstrahl herabgeführt wird. Wenn aber die Ableitung gut ist, so hat es weniger zu sagen, wenn die Spitze nicht ganz scharf ist, weil alsdann wohl ein Blitz von der Wolke auf die Eisenstange, aber nicht in das Haus überschlagen kann, indem er der metallischen Leitung folgt.

Was nun die Entstehung der Elektricität in den Wolken betrifft, so wissen wir darüber so gut wie nichts. Die verschiedenen Theorieen, welche man über die Quelle der atmosphärischen Elektricität aufgestellt hat, sind durchaus ungenügend und unwahrscheinlich. Einige meinen, daß die Elektricität der Gewitterwolken durch die rasche Verdichtung des atmosphärischen Wasserdampfs entstehe, daß also die Elektricität die Folge der schnellen Wolkenbildung sey; nach Andern soll sie bei der Verdunstung des Wassers entstehen, ja selbst die Vegetation soll Elektricität entwickeln. Eine weitere Auseinandersetzung dieser Hypothese halte ich für überflüssig, da ja eine nähere Untersuchung derselben uns doch nur zu einem negativen Resultate, nämlich zu Dem führt, daß sie weder bewiesen noch plausibel sind. Gestehen wir also lieber offen unsre Unwissenheit in diesem Punkte, als daß wir uns mit einer unhaltbaren Hypothese zufriedenstellen.

Daß die Euler'sche Erklärung nicht die richtige seyn kann, geht schon daraus hervor, daß ja seine ganze Vorstellung über das Wesen der Elektricität, die Unterscheidung in Körper mit offenen und verschlossenen Poren, als der Erfahrung widersprechend, aufgegeben werden mußte. Aber auch hier, bei der Erklärung der Gewitter, kommt er mit der Erfahrung in Widerspruch. Nach Euler's Ansicht nämlich müssen die Wolken stets positiv elektrisch seyn, eine genaue Untersuchung hat aber gezeigt, daß die Gewitterwolken in der That bald positiv, bald negativ elektrisch sind.

Die Schwierigkeiten, welche sich einer genügenden Erklärung der atmosphärischen Elektricität entgegenstellen, sind wohl besonders darin zu suchen, daß wir wohl das Verhalten fester Körper gegen die Elektricität, aber nicht des gasförmigen Körpers, der Dämpfe und der Wolken kennen; auch ist es schwer, hierüber entscheidende

Versuche anzustellen, weil alle elektrischen Erscheinungen, welche wir im Kleinen an Gasen und Dämpfen etwa beobachten könnten, zu sehr durch die Nähe fester, bald mehr, bald weniger leitender Körper modificirt sind, so daß man wohl nicht mit Sicherheit aus solchen Versuchen auf die Bildung und Vertheilung der Elektricität in höheren Luftregionen schließen kann.

Vor Kurzem wurde in England eine Entdeckung gemacht, die uns vielleicht zu einer richtigen Erklärung der Entstehung der atmosphärischen Elektricität führt. Man fand nämlich, daß der Dampf, welcher mit Gewalt aus der engen Oeffnung eines Dampfkessels hervorströmt, elektrisch ist.

Darauf hin wurden besondere Dampfelektrisirmaschinen gebaut. Sie bestehen aus einem, auf starken Glasfüßen ruhenden Dampfkessel, dessen Feuerung in seinem Innern angebracht ist; wenn die Dämpfe eine Spannung von 4 bis 5 Atmosphären erreicht haben, wird ein Hahn geöffnet, der Dampf strömt durch diesen und mehrere enge, mit Holz ausgefütterte Röhrchen mit Gewalt aus; der Dampf ist positiv, der Kessel negativ elektrisch, und man kann aus dem Kessel Funken von großer Länge und Stärke ziehen.

Anfangs glaubte man, die Elektricität sey durch die Dampfbildung erzeugt, aber alle Elektricität verschwindet, sobald das Sicherheitsventil geöffnet wird, obgleich die Dampfbildung fortdauert; es ergab sich, daß die Elektricität von der Reibung der Dämpfe und Wassertheilchen herrührt, welche dieselben bei dem gewaltsamen Durchströmen an der Wendung der engen Ausströmungsöffnungen erleiden.

Da aber die Reibung der Dämpfe und der schon wieder condensirten feinen Wassertheilchen an einem festen Körper Elektricität erzeugt, so wäre es nicht undenkbar, daß auch durch die Reibung, welche entsteht, wenn zwei Wolken in verschiedener Richtung über einander wegziehen, oder wenn an einer Wolke ein Luftstrom in anderer Richtung vorüber weht, Elektricität entstehen könnte. Ob eine solche Erklärung annehmbar ist, muß freilich erst noch durch Versuche nachgewiesen werden.

Fünfunddreißigster Brief.

Verschiedene Erscheinungen elektrischer Anziehung und Abstoßung.

Ich habe Ihnen in meinen letzten Briefen in wenigen Zügen die Grundgesetze der Reibungs-Elektricität zu entwickeln versucht, und eben nur diejenigen Versuche angeführt, welche zur Begründung dieser Hauptsätze unentbehrlich sind. Viele andere, eben so interessante als lehrreiche Versuche, habe ich, um die Uebersicht nicht zu stören, unberücksichtigt gelassen, und will einige derselben jetzt noch nachträglich besprechen. Betrachten wir zunächst einige Erscheinungen elektrischer Anziehung und Abstoßung.

Wenn man sich auf einen Isolirschemel stellt, d. h. auf einen kleinen Tisch, welcher durch Glasfüße isolirt ist, und mit der einen Hand den Conductor der Electrisirmaschine anfaßt, während dieselbe gedreht wird, so nimmt der menschliche Körper eine elektrische Ladung an, man kann an jeder Stelle desselben Funken erhalten, gerade so, wie am Conductor der Maschine selbst; die Haare auf dem Kopfe stellen sich wenigstens theilweise auf, weil sie sich als gleichartig elektrisch geladen einander abstoßen; so oft man einen Funken aus dem Conductor zieht, fallen die Haare zusammen, um sich sogleich wieder aufzurichten.

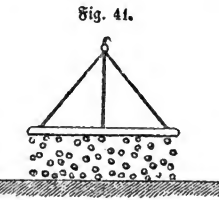
Fig. 40.

Dieselbe Erscheinung, wie man sie hier an den Haaren beobachtet, läßt sich in größerem Maaßstabe auch auf folgende Art hervorbringen. Man befestige auf passende Art auf dem Conductor der Elektrisirmaschine ein etwa zwei Fuß langes Stäbchen irgend einer leitenden Substanz, etwa von Metall oder Holz, auf welchem oben eine Metallplatte oder auch eine mit Staniol überzogene Pappscheibe von 1 bis $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser befestigt ist, an deren Rande Streifen von feinem Papier (am schönsten Streifen von verschiedenfarbigem Seidenpapier) aufgeklebt sind, die gerade herabhängen. Sobald die Maschine gedreht wird, gehen die Streifen fächerförmig auseinander, wie Fig. 40. zeigt.

Wenn man auf eine gutleitende Unterlage Kügelchen von Hollundermark oder andre leichte Körper legt, und den geladenen Deckel eines Electrophors darüber hält, so tanzen sie zwischen dem

Deckel auf und ab. Sie steigen, bis sie den Deckel berührt haben, fallen dann wieder, um abermals zu steigen, wenn sie den Boden berührt haben.

Fig. 41.



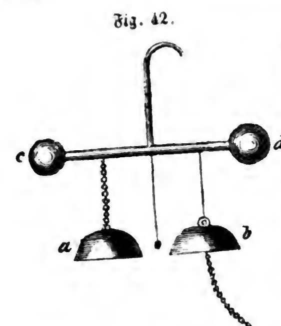
Diese Erscheinung erklärt sich, wie alle Anziehungs- und Abstoßungsphänomene. Der Deckel wirkt vertheilend auf die Kügelchen; die abgestoßene Electricität entweicht durch die Unterlage, die angezogene häuft sich in der Kugel an und zieht sie in die Höhe; mit dem Deckel in Berührung gekommen, geben sie ihre Elektricität ab und laden sich mit der des Deckels, von dem sie nun abgestoßen werden; mit dem Boden in Berührung gebracht, kann natürlich das Steigen wieder beginnen u. s. w.

Statt der Hollundermarkkügelchen kann man auch Püppchen aus leichten Substanzen anwenden und erhält dann die unter dem Namen des elektrischen Puppentanzes bekannte Spielerei.

Dieser Versuch rührt von Volta her, welcher damit veranschaulichen wollte, wie er sich die Entstehung des Hagels denkt; er meint nämlich, zwei Wolken von entgegengesetzter Elektricität schweben über einander und zwischen ihnen fahren dann die Hagelkörner hin und her, wie die Hollundermarkkügelchen in dem besprochenen Versuch, bis sie endlich zu schwer sind, als daß die elektrische Anziehung ihr Herabfallen hindern kann. Auf diese Art sucht Volta zu erklären, auf welche Weise es kommt, daß die Hagelkörner lange genug in der Luft bleiben, um eine so bedeutende Größe zu erlangen, wie sie häufig vorkommt, denn die Hagelkörner sind häufig so groß wie Taubeneier, haben oft einen Durchmesser von mehreren Zollen, und man hat solche beobachtet, die über ½ Pfund schwer waren.

Wenn man aber diese Größe, dieses Gewicht der Hagelkörner bedenkt, so ist es doch auch schwer zu glauben, daß sie zwischen Wolken so auf- und abtanzen, und da diese Erklärung der Hagelbildung noch für die beste gilt, so sehen Sie wohl ein, daß in diesen Punkten unser Wissen noch nicht weit her ist. Ich wenigstens muß gestehen, daß mir diese Theorie durchaus nicht genügt, und daß ich den Hagel zu den bis jetzt noch nicht erklärten Phänomenen zähle.

Fig. 42.



Eine ganz nette Spielerei ist das elektrische Glockenspiel. An einem Metallstäbchen cd, welches mit dem Conductor der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gesetzt wird, hängen zwei Metallglöckchen, eines a an einem Metallkettchen, das andre b an einem Seidenfaden; letzteres ist durch ein Kettchen mit dem Boden in leitender Verbindung. Zwischen beiden hängt an einem Seidenfaden eine kleine Metallkugel. Wird dem Stäbchen cd und also auch dem Glöckchen a vom Conductor der Maschine Elektricität zugeführt, so wird das Kügelchen von a angezogen, alsbald aber abgestoßen und nach b getrieben, wo es die von a geholte Elektricität abgibt und nun abermals von a angezogen wird u. s. w.

Man hat diese elektrischen Spielereien fast in's Unendliche vervielfaltigt; ich habe deßhalb geglaubt, Ihnen wenigstens einige der gewöhnlichsten beschreiben zu müssen.

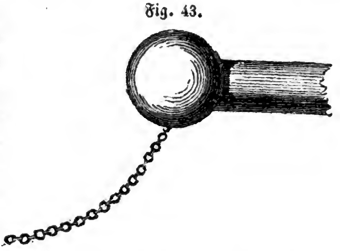
Sechsunddreißigster Brief.

Von den elektrischen Lichterscheinungen.

Von einer elektrischen Lichterscheinung war in meinen Briefen an Sie bereits die Rede, nämlich vom elektrischen Funken. Ueber die Natur des elektrischen Funkens ist man bis jetzt noch nicht im Reinen. Einige neigen sich zu der Ansicht hin, daß beim Ueberschlagen eines Funkens die Theilchen des durchbrochenen Körpers in einer ähnlichen Weise in's Glühen gebracht würden, wie dieß beim Durchgang des Entladungsschlags der Batterie durch einen dünnen Draht der Fall ist; Andre schreiben die Lichterscheinung dem Umstande zu, daß von den Leitern, zwischen denen der Funken überspringt, glühende Theilchen übergerissen würden. Bis jetzt können wir uns noch nicht für die eine oder andere Ansicht aussprechen, weil uns noch keine entscheidenden Thatsachen darüber bekannt sind.

Recht artige elektrische Lichterscheinungen erhält man durch Vervielfältigung des elektrischen Funkens, d. h. dadurch, daß man ihn gleichzeitig durch eine Reihe aufeinander folgender Zwischenräume überschlagen läßt. Befestigt man z. B. an dem Conductor der Elektrisirmaschine einen Seidenfaden, auf welchem abwechselnd Glas und Metallperlen aufgereiht sind, so wird, wenn man das andere Ende dieser Kette in der Hand hält, indem die Maschine gedreht wird, gleichzeitig ein Funken zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Metallperlen überspringen, man sieht also eine lange Lichtlinie, welche sich namentlich im Dunkeln recht hübsch ausnimmt.

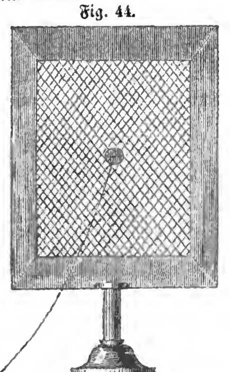
Fig. 43.



Auf ähnliche Weise hat man sich wohl auch den Blitz als aus einer Reihe elementarer elektrischer Funken zusammengesetzt zu denken.

Eine Vervielfältigung des elektrischen Funkens kann man auch dadurch erhalten, daß man auf eine Glasröhre der Reihe nach kleine, am besten rautenförmige Stanniolstückchen aufklebt, zwischen denen dann immer ein kleiner Zwischenraum bleibt.

Fig. 44.



Eine sehr schöne Erscheinung bietet die sogenannte Blitztafel dar. Denken Sie sich eine große Glastafel, welche auf beiden Seiten so mit Stanniol beklebt ist, daß ringsum noch ein etwa drei Finger breiter Glasrand frei bleibt, so hat man eine Vorrichtung, welche unter dem Namen der Franklin'schen Tafel bekannt ist, und welche sich von der Leidner Flasche nur durch ihre Gestalt unterscheidet. Man kann eine solche Tafel ebenso laden und entladen wie eine Leidner Flasche. Aus einer solchen Franklin'schen Tafel kann man nun leicht eine Blitztafel machen, wenn man die Belegung auf der einen Seite durch zwei Reihen paralleler sich durchkreuzender Linien durchfurcht, auf welchen man das Glas bloslegt, so daß die ganze Belegung auf dieser Seite aus einer Reihe rautenförmiger, isolirter

Stanniolstückchen besteht. In der Mitte der durchfurchten Belegung ist eine Metallplatte mit einem Haken aufgekittet, an welchen eine Kette gehängt wird, die zum Conductor der Elektrisirmaschine führt, während die Belegung der andern Seite mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Wird nun die Maschine gedreht, so laden sich beide Belegungen mit entgegengesetzter Elektricität. Auf der vordern Belegung kann aber die Ladung nur dadurch vor sich gehen, daß die Elektricität in Funken die Zwischenräume überspringt; man sieht dabei von der Mitte aus Blitze nach allen Seiten hin die Tafel durchzucken, was im Dunklen einen prachtvollen Anblick darbietet.

Wenn das Drehen der Maschine aufhört, so entladet sich die Tafel allmählig von selbst, wobei das Blitzen ganz in derselben Weise noch eine Zeit lang fortdauert, wie beim Laden der Tafel.

Im lufterfüllten Raum schlägt der Funken nicht auf sehr große Entfernungen über, wenn er nicht vom Conductor einer sehr starken Maschine kommt; dabei hat er ein intensives Licht. Im luftverdünnten Raum hat die Elektricität beim Ueberschlagen von einem Leiter zum andern einen geringeren Widerstand zu überwinden, im luftverdünnten Raum ist deßhalb die Schlagweite viel größer als im lufterfüllten. Der elektrische Funke einer schwächeren Maschine, welche im lufterfüllten Raume kaum auf 1 Zoll Entfernung überspringt, geht im verdünnten Raume mit Leichtigkeit auf einen, ja mehrere Fuß Entfernung über; dabei verliert der Funke sein blendendes Licht, er dehnt sich aber zu herrlichen blaß violetten Lichtgarben aus; mit der Intensität des Lichtes verschwindet auch der eigenthümliche Knall, welcher den Funken in der Luft begleitet.

Fig. 45.



Um den elektrischen Funken im luftleeren Raum überschlagen zu lassen, wendet man am bequemsten eine Luftpumpenglocke an, welche wie Fig. 45. zeigt, oben mit einer Stopfbüchse versehen ist, durch welche ein Metallstab herabgeht, der unten mit einer Kugel endigt. Man kann diesen Stab durch die Stopfbüchse leicht nach Belieben in die Höhe ziehen und niederdrücken, so daß die Entfernung zwischen der Kugel und dem metallischen Teller der Luftpumpe, auf welche die Glocke gesetzt wird, um luftleer gemacht zu werden, größer und kleiner gemacht werden kann.

Im 32sten Briefe habe ich Ihnen vom allmähligen Ausströmen der Elektricität aus Spitzen geschrieben. Auch diese stetige Art des Ueberganges der Elektricität von einem Leiter durch die Luft zu einem andern Körper ist von einer Lichterscheinung begleitet, die man leicht im Dunklen wahrnehmen kann. Wenn die Elektrisirmaschine im Dunklen gedreht wird, so sieht man an verschiedenen Stellen Lichtbüschel hervorsprühen. Sehr schön sieht man solche Lichtbüschel, wenn man eine Spitze auf den Conductor setzt und diesem die Hand oder einen andern Leiter entgegenhält. Auch wenn man eine in der Hand gehaltene Spitze gegen den Conductor der Elektrisirmaschine hält, so erscheint an ihr ein Lichtbüschel.

Die negative Elektricität gibt niemals so große und so stark divergente Lichtbüschel wie die positive. Es scheint auf einen charakteristischen Unterschied der beiden Elektricitäten hinzudeuten.

Siebenunddreißigster Brief.

Von den Elektroscopen mit einem Condensator.

Schon früher habe ich davon geredet, wie zwei neben einander hängende Pendel durch ihre Divergenz das Vorhandenseyn einer elektrischen Ladung anzeigen; ein jedes Pendelpaar der Art ist also ein Elektroscop. Um solche Elektroscope recht empfindlich zu machen, d. h., um es dahin zu bringen, daß sie schon bei sehr schwachen Ladungen divergiren und also die geringsten Spuren von Elektricität anzeigen, macht man sie aus schmalen Streifen von Blattgold, welche an dem untern Ende eines isolirten Metallstäbchens befestigt sind; weil solche Goldstreifchen aber sehr leicht beweglich sind, und durch den geringsten Luftzug schon zerrissen werden könnten, so muß man sie mit einem Glasgefäß umgeben, und so entsteht ein Apparat von der in Fig. 46. dargestellten Art.

Fig. 46.

Die Goldpendel hängen am untern Ende eines Messingstäbchens, welches in einer Glasröhre steckt und dadurch isolirt ist. Dieses Glasstäbchen ist in ein Messingstück eingekittet, welchen man auf die Fassung eines Glasgefässes aufschrauben kann, in welchem die Pendel hängen sollen. Oben ist auf das

Messingstäbchen eine Messingplatte aufgeschraubt, welche wir als-bald näher betrachten wollen.

Ein von Oben her dem Elektroscop genäherter elektrischer Körper wirkt vertheilend; die von ihm angezogene Elektricität begibt sich in die Platte, die abgestoßene wird in die Pendel getrieben, welche eben deßhalb divergiren. Berührt man die Platte mit dem Finger, so fallen die Pendel zusammen, weil die abgestoßene Elektricität nun ganz aus dem Apparat entweicht, während die angezogene in der Platte gebunden bleibt. — Entfernt man nun zuerst den Finger, mit welchem man die Platte ableitend berührt hatte und dann den elektrischen Körper, so gehen die Pendel wieder aus einander, weil die bis dahin in der Platte gebunden gewesene Elektricität sich jetzt wieder frei verbreiten, also auch in die Pendel herabgehen kann.

So ist nun der Apparat geladen und ein so geladenes Elektroscop kann dienen, um zu untersuchen ob ein elektrischer Körper positiv oder negativ elektrisch sey.

Nehmen wir an, das Elektroscop sey mit positiver Elektricität geladen, d. h. es sey positive Elektricität, welche in den Pendeln ihre Divergenz bewirkt, so werden sie zusammenfallen, wenn man von Oben her einen negativ elektrischen Körper nähert, weil die negative Elektricität des genäherten Körpers die positive Elektricität aus den Pendeln zieht.

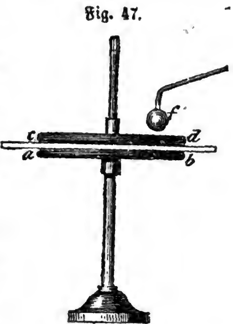
Nähert man aber von Oben her einen positiv elektrischen Körper, so gehen die Pendel noch mehr aus einander, weil die jetzt auch in der Platte befindliche +E auch noch in die Pendel getrieben wird.

Kurz, wenn ein Elektroscop mit irgend einer Elektricität geladen ist, so fallen die Pendel bei Annäherung eines entgegengesetzt elektrischen Körpers zusammen, sie gehen weiter aus einander bei Annäherung eines mit der Ladung des Elektroscops gleichartig elektrischen Körpers. Ein Elektroscop der eben besprochenen Art kann man gebrauchen um zu zeigen, daß durch Berührung verschiedenartiger Metalle, etwa Kupfer und Zink, das eine Metall positiv, das andere Metall negativ elektrisch wird, was ich Ihnen jetzt näher aus einander zu setzen beabsichtige, und deßhalb habe ich auch gerade bis hierher die Beschreibung der Elektroscope verschoben.

Die elektrische Spannung, welche bei der Berührung verschiedener Metalle entsteht, ist so gering, daß sie nicht unmittelbar

auf das Elektrometer zu wirken im Stande ist; um die hier erzeugte Elektricität sichtbar zu machen, muß man Mittel anwenden, die Elektricität zu verdichten, zu condensiren. Man erreicht dieß durch eine Vorrichtung, welche den Namen des Condensators führt.

Fig. 47.



Die Theorie des Condensators läßt sich am bequemsten mit Hülfe des Apparates Fig. 47. ableiten, welcher eigentlich auch schon ein Condensator, d. h. ein Apparat ist, mit Hülfe dessen man die Elektricität bedeutend mehr anhäufen kann als es auf einer einzelnen Metallplatte möglich ist.

Sie haben diesen Apparat schon in meinem dreißigsten Brief kennen gelernt; Sie haben gesehen, daß wenn die untere Metallplatte a b isolirt bleibt, nur eine bestimmte geringe Menge Elektricität von einer Elektricitätsquelle f auf die Platte c d übergehen kann; diese Elektricitätsmenge, die wir mit e bezeichnen wollen, hängt von der Spannung der Elektricität auf f ab, sie ist über die ganze Oberfläche von c d verbreitet und frei; wird aber die untere Metallplatte ableitend berührt, so wird die bis dahin freie Elektricität auf c d gebunden, weil nun a b sich mit der entgegengesetzten Elektricität laden kann, es kann von neuem Elektricität von der Elektricitätsquelle f auf c d übergehen, kurz die gebundene Elektricität auf c d wird jetzt eine viel größere Dichtigkeit annehmen als die Dichtigkeit der Elektricität auf f ist.

Die gegenseitige Bindung ist um so vollständiger, je dünner die Glasplatte ist, welche die beiden Metallplatten trennt. Ist bei einer bestimmten Glasdicke die Menge der Elektricität, welche man auf c d anhäufen kann, wenn a b ableitend berührt ist, 5mal so groß als wenn a b gar nicht vorhanden oder isolirt wäre, so kann man bei Anwendung einer verhältnißmäßig dünnen Platte auf c d wohl 10mal so viel Elektricität anhäufen, als sich frei auf diese Metallplatte verbreiten kann.

Wenn die beiden Metallplatten mit elektrischen Pendeln versehen sind, so können diese keine Spur von Elektricität zeigen, während der Apparat doch geladen ist; sie divergiren aber sogleich, wenn man die obere Metallplatte c d abhebt, wie ich

Ihnen das schon im neunundzwanzigsten Briefe auseinandergesetzt habe.

Denken Sie sich nun auf die Platte des Elektroscops, Fig. 48., eine Glasplatte gelegt und auf diese eine andere Metallplatte aufgesetzt, welche mit einem Glasstiel versehen ist, so haben Sie einen Apparat, welcher dem in Fig. 47. ganz entsprechend ist.

Fig. 48.

Berührt man die untere Platte, welche auf das Elektroscop aufgeschraubt ist, mit einer schwachen Elektricitätsquelle, so wird sich Elektricität von einer bestimmten Dichtigkeit auf diese Platte verbreiten, eine bedeutend größere Menge Elektricität wird aber auf ihr gebunden, wenn die obere Platte ableitend berührt wird; hebt man nun die obere Platte ab, so werden die Pendel nun divergiren, weil sich die bis dahin gebunden gewesene Elektricität über sie verbreitet.

Wenn man mit Elektricitätsquellen zu thun hat, welche Elektricität von sehr schwacher Spannung liefern, so ist eine Glasplatte noch zu dick, um eine hinlängliche Condensation zu erhalten; für diesen Fall wird jede der beiden Metallplatten, sowohl die auf das Elektroscop aufgeschraubte als auch die andere, mit einer dünnen Firnißschicht überzogen (d. h. nur an der Fläche, mit welcher sie die andere berührt); diese Harzschicht ersetzt die isolirende Glasplatte, und läßt, weil sie so sehr dünn ist, eine bedeutend stärkere Condensation zu; in dieser Form führt der Apparat vorzugsweise den Namen des Condensators.

Achtunddreißigster Brief.

Elektricität durch Berührung verschiedener Metalle.

Wenn man die untere Fläche der untern Condensatorplatte, welche, wie ich annehme, von Messing und auf der untern Seite nicht gefirnißt ist, mit einem Stück Zink berührt, so wird die Messingplatte negativ, das Zinkstück positiv elektrisch. Die

Spannung der Elektricität, welche sich auf der Messingplatte verbreitet, ist aber viel zu gering, um ohne Weiteres die Pendel des Elektroscops zur Divergenz zu bringen.

Wird aber nun die obere Platte aufgesetzt und ableitend berührt, so wird die Elektricität an der die beiden Condensatorplatten trennenden Harzschicht condensirt, sie erhält hier eine bedeutend größere, ich will beispielsweise annehmen eine 20mal so große Dichtigkeit als die der freien Elektricität war, welche sich vorher auf der untern Condensatorplatte verbreitet hatte; wenn man nun den Finger von der obern, das Zinkstück von der untern Platte wegnimmt und die obere Platte abhebt, so verbreitet sich die an der Harzfläche wohl auf's zwanzigfache verdichtete Elektricität auch über die Pendel, welche jetzt divergiren, was früher, vor der Anwendung des Condensators, nicht möglich war.

So ist denn mit Hülfe des Condensators die Elektricitäts-Erregung durch den Contact verschiedenartiger Metalle nachgewiesen; es handelt sich jetzt darum, die Natur der Elektricität zu ermitteln.

Wenn die untere Messingplatte mit einem Zinkstück, die obere mit dem Finger ableitend berührt worden war, so divergiren die Pendel nach dem Abheben der obern Platte mit negativer Elektricität, was daraus hervorgeht, daß die divergirenden Pendel zusammenfallen, wenn man von oben her eine mit Seide geriebene Glasstange nähert, — daß sie dagegen bei Annäherung einer negativ elektrischen Harzstange noch mehr divergiren.

Wäre die untere Condensatorplatte von Kupfer gewesen, so hätte man dasselbe Resultat erhalten.

Wenn die untere Condensatorplatte von Zink ist, wenn man sie mit einem Kupferstück berührt, während die obere Condensatorplatte mit dem Boden in leitende Verbindung gesetzt ist, so werden nach dem Abheben der obern Condensatorplatte die Pendel mit positiver Elektricität divergiren.

Diese Versuche beweisen nun, daß bei Berührung von Zink und Kupfer eine Elektricitäts-Erregung stattfindet, daß das Zink positiv, das Kupfer negativ elektrisch wird; eine ähnliche Elektricitäts-Erregung findet auch bei andern Metallen statt. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe von Metallen so geordnet, daß jedes, mit allen folgenden in Berührung gebracht, negativ elektrisch wird.

—
Kohle
Platin
Gold
Silber
Kupfer
Eisen
Zinn
Blei
Zink
+

In dieser Reihe steht zu oberst ein Körper, welcher freilich kein Metall ist, welcher sich aber in elektrischer Beziehung ganz wie ein Metall verhält und deßhalb ganz besondere Wichtigkeit erlangt hat, weil er zur Construction galvanischer Ketten verwendet wird, nämlich die Kohle.

Der Kohlenstoff kommt in der Natur in den verschiedensten Gestalten vor. Zwei Körper, welche äußerlich auch nicht die entfernteste Aehnlichkeit haben, nämlich Diamant und Graphit, sind reiner Kohlenstoff. Der Diamant ist sehr hart und durchsichtig; der Graphit, der färbende Stoff unserer Bleistifte, ist undurchsichtig, schwarz und läßt sich leicht schneiden; dennoch bestehen beide Körper aus reinem Kohlenstoff.

Die Holzkohle sowohl als auch die Steinkohle sind Körper, welche größtentheils aus reinem Kohlenstoff bestehen, dem nur noch einige fremde Bestandtheile beigemischt sind. Die Form der Holzkohle und der Steinkohle ist freilich nicht zur Construction galvanischer Apparate geeignet; eine zu diesen Zwecken brauchbare Kohle erhält man, wenn man Coaks (entschwefelte Steinkohlen) pulvert und in verschlossenen Blechgefäßen glüht, wodurch das Kohlenpulver zu einer porösen zusammenhängenden Kohlenmasse zusammenbackt. Die so erhaltene Kohle ist noch nicht fest genug; sie wird mit concentrirtem Zuckerwasser getränkt, so daß die Zuckerlösung die Poren ausfüllt, und nachdem das Wasser verdünstet ist, abermals in verschlossenen Blechcylindern geglüht, wodurch dann die Masse die nöthige Festigkeit erhält, um auf der Drehbank abgedreht werden zu können.

Die Kohle wird negativ elektrisch, wenn sie mit irgend einem der unter ihr stehenden Metalle obiger Tabelle in Berührung gebracht wird, doch ist die Elektricitätserregung um so kräftiger,

je weiter das Metall in jener Reihe von der Kohle absteht; sie ist z. B. stärker, wenn Kohle mit Zink in Berührung kommt, als wenn Kohle mit Kupfer in Berührung gebracht wird.

Je weiter überhaupt zwei Metalle in jener Reihe, welche man die Spannungsreihe nennt, von einander abstehen, desto kräftiger ist die Elektricitätserregung, wenn sie in Berührung gebracht werden.

Sie werden leicht bemerken, daß die edleren Metalle am negativen Ende der Spannungsreihe stehen, während dagegen die leichter oxydirbaren Metalle, d. h. diejenigen, welche sich leichter mit Sauerstoff verbinden, das positive Ende dieser Reihe bilden.

Die elektrische Differenz zwischen Platin und Zink ist gleich der elektrischen Differenz zwischen Platin und Kupfer, + der elektrischen Differenz zwischen Kupfer und Zink, und daraus folgt, daß wenn man auf eine Zinkplatte eine Kupferplatte und auf diese eine Platinplatte legt, die elektrische Spannung der unten liegenden Zinkplatte und der oben liegenden Platinplatte gerade so groß ist, als ob beide Platten unmittelbar auf einander liegen.

Wenn man also überhaupt beliebige Metallplatten in beliebiger Zahl auf einander schichtet, so ist der elektrische Zustand der Endplatten gerade derselbe, als ob alle Zwischenplatten fehlten und die Endplatten in unmittelbarer Berührung wären.

Wie ich es schon im fünfundzwanzigsten Briefe erwähnte, war es Volta, welcher mit Hülfe des von ihm construirten Condensators den Beweis lieferte, daß durch Berührung verschiedenartiger Metalle wirklich Elektricität erzeugt wird.

Sie werden nun auch gewiß nähere Auskunft über die Art und Weise zu erhalten wünschen, wie man die Zuckungen der Froschschenkel am leichtesten hervorbringt, welche, wie Sie ja schon wissen, die erste Veranlassung zur Entdeckung des Galvanismus gaben.

Einem lebenden Frosch schneidet man, um ihn rasch zu tödten, mit einer scharfen Scheere den Kopf und gleich darauf schneidet man den Rumpf zwei bis drei Linien oberhalb der Hinterbeine ab; von den Hinterbeinen zieht man nun rasch die Haut ab und legt die Schenkelnerven, welche als zwei weiße Fäden neben dem durchschnittenen Rückgrath liegen, etwas frei, ohne sie jedoch zu quetschen. Die so präparirten Froschschenkel

legt man auf eine Glasplatte, schiebt unter die Schenkel einen Kupferstreifen, während man die Schenkelnerven mit einem ähnlichen Zinkstreifen berührt. Sobald man nun das andere Ende des die Schenkelnerven berührenden Zinkstreifens mit dem Kupfer in Berührung bringt, geräth der Froschschenkel in Zuckungen, was nicht stattfindet, wenn man zwei Streifen desselben Metalls, also zwei Kupferstreifen oder zwei Zinkstreifen statt eines Zink- und eines Kupferstreifens anwendet.

Neununddreißigster Brief.

Die Voltaische Säule.

Auch chemisch zusammengesetzte Körper, namentlich Flüssigkeiten, bewirken mit Metallen in Berührung gebracht eine Elektricitäts-Erregung, die meisten aber lassen sich nicht in die Spannungsreihe einschalten. — So wird z. B. Zink in Berührung mit reinem Wasser freilich sehr schwach negativ elektrisch. Wenn nun das Wasser in die Spannungsreihe eingeschaltet werden sollte, so müßte man es nach seinem Verhalten gegen Zink noch unter dieses Metall setzen; nähme aber das Wasser wirklich diese Stelle in der Spannungsreihe ein, so müßte Platin in Berührung mit Wasser noch bei weitem stärker negativ elektrisch werden als Zink, was nicht der Fall ist; das Platin wird in Berührung mit Wasser nicht so stark negativ elektrisch wie Zink; das Wasser folgt also nicht den Gesetzen der Spannungsreihe.

Ein ähnliches Verhalten zeigt verdünnte Schwefelsäure; Kupfer wird in Berührung mit verdünnter Schwefelsäure nicht so stark negativ elektrisch wie Zink.

Durch diese Eigenthümlichkeit der Flüssigkeiten ist es möglich, durch Schichtung von Metallscheiben und Flüssigkeiten eine Säule aufzubauen, deren Enden eine weit stärkere elektrische Spannung zeigen, als ein einzelnes Plattenpaar.

Wenn man auf eine Zinkplatte eine Kupferplatte legt, so wird erstere +, letztere — elektrisch; nehmen wir an, die Zinkplatte sey isolirt; die Dichtigkeit der Elektricität auf der Zinkplatte sey mit $+ e$, die auf der Kupferplatte sey $- e$.

Legt man auf dieses Zinkkupferpaar eine feuchte Scheibe und auf diese ein zweites Zinkkupferpaar, so daß Zink wieder unten hinzuliegen kommt, so würde die Vertheilung der Elektricität auf

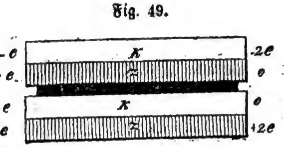


Fig. 49.

den einzelnen Metallplatten so seyn, wie es auf der linken Seite der Figur beigeschrieben steht, wenn die mit Wasser befeuchtete Scheibe wie ein Isolator wirkte; die feuchte Scheibe wirkt aber als Leiter, ohne daß eine nur einigermaßen bedeutende Elektricitäts-Erregung durch Contact des Wassers mit den Metallen stattfände; wir können deßhalb diese Elektricitäts-Erregung vor der Hand noch unberücksichtigt lassen. Nehmen wir also die feuchte Scheibe nur als Leiter an. Die negative Elektricität der untern Kupferplatte verbreitet sich durch die feuchte Scheibe über das ganze obere Plattenpaar, so daß die Dichtigkeit der Elektricität des obern Plattenpaares überall um — e vermehrt wird. Was die untere Kupferplatte dadurch an Elektricität an die obere abgibt, wird durch die Berührung mit der untern Zinkplatte alsbald wieder ersetzt.

Die durch die feuchte Scheibe auf das obere Plattenpaar geleitete negative Elektricität addirt sich zu der schon auf diesem Plattenpaar vorhandenen; die obere Kupferplatte hat durch Berührung mit ihrer Zinkplatte die Elektricität — e, dazu noch die Elektricität — e, welche von dem untern Plattenpaare heraufgeleitet wurde, gibt — 2 e.

Durch Berührung mit der obern Kupferplatte hat die obere Zinkplatte die Elektricität + e, diese gleicht sich mit der Elektricität — e aus, welche von dem untern Plattenpaare herzugeleitet wird; die obere Zinkplatte befindet sich also im natürlichen Zustand, sie hat keine freie Elektricität.

Auf dieselbe Weise wird dem untern Plattenpaar + e durch die feuchte Scheibe von der obern Zinkplatte zugeführt, und daraus folgt, daß die Dichtigkeit der Elektricität auf der untern Kupferplatte 0, auf der untern Zinkplatte aber + 2 e ist; kurz, wenn die beiden Plattenpaare durch eine feuchte Scheibe getrennt sind, so ist die Vertheilung der Elektricität, so wie sie durch die Zahlen auf der rechten Seite der Figur angedeutet ist, d. h. die obere Kupferplatte hat eine doppelt so starke negative, die untere Zinkplatte hat eine doppelt so starke positive Ladung als die der Platten eines einzelnen Zinkkupferpaares.

Verdünnte Schwefelsäure wirkt schon in Berührung mit Zink weit kräftiger elektromotorisch als reines Wasser; wenn also die

Tuchscheibe, welche die beiden Plattenpaare trennt, nicht mit Wasser, sondern mit verdünnter Schwefelsäure befeuchtet ist, so muß man die elektromotorische Wirkung dieser Flüssigkeit noch berücksichtigen. Durch die feuchte Scheibe geht nun vor wie nach noch — e von der untern Kupferplatte auf das obere Plattenpaar über, außerdem aber wird auf dem obern Plattenpaar noch negative Elektricität verbreitet, welche durch die Berührung der obern Zinkplatte mit der Schwefelsäure entsteht; durch Anwendung der verdünnten Schwefelsäure wird also die elektrische Spannung der beiden Endplatten der kleinen Säule noch mehr gesteigert.

Schichtet man 3, 4, 5 u. s. w. Zinkkupferpaare stets in gleicher Ordnung, etwa immer Zink unten und Kupfer oben, jedes Paar, wie wir oben gesehen haben, durch eine feuchte Scheibe von dem folgenden getrennt, so wird die elektrische Spannung der Endplatten in demselben Maaße zunehmen wie die Zahl der Plattenpaare. Bezeichnet man mit e die Dichtigkeit der Elektricität auf den Platten eines einzigen isolirten Zinkkupferpaares, so ist 3 e, 4 e, 5 e u. s. w. die Dichtigkeit auf den Endplatten einer aus 3, 4, 5 u. s. w. Plattenpaaren mit dazwischengelegten feuchten Scheiben aufgebauten Säule.

Wenn die Flüssigkeit selbst in Berührung mit den Metallen eine elektromotorische Wirkung in der erwähnten Weise ausübt, so wird dadurch die elektrische Spannung auf den Endplatten der Säule noch mehr gesteigert.

Eine auf die angegebene Weise mit Zinkplatten, Kupferplatten (am zweckmäßigsten ist es, jede Zinkplatte mit ihrer Kupferplatte zusammenzulöthen) und feuchten Scheiben aufgebaute Säule führt nach ihrem Erfinder den Namen der voltaischen Säule. Durch solche Säulen brachte Volta zuerst kräftigere Wirkungen der Contactelektricität hervor, und mit Hülfe dieser Säule wurden viele wichtige Entdeckungen gemacht.

Vierzigster Brief.

Der elektrische Strom.

Die beiden Endplatten einer isolirten voltaischen Säule sind also mit entgegengesetzter Elektricität geladen; die Spannung auf diesen Endplatten, welche den Namen Pole führen, ist um so

größer, je größer die Anzahl der Plattenpaare ist. Gewöhnlich werden in physikalischen Kabinetten Säulen von 50 bis 100 Plattenpaaren angewendet.

Wenn man die beiden Pole der Säule in leitende Verbindung setzt, so findet etwas ganz Aehnliches statt, wie wenn man die beiden Belegungen einer Leidner Flasche leitend mit einander verbindet: die entgegengesetzten Elektricitäten der Pole gehen durch den Schließungsbogen zu einander über. Bei der Leidner Flasche tritt in einem Augenblick vollständige Entladung ein, bei der voltaischen Säule aber wird die Elektricität in dem Maaße, wie sie von einem Pole durch den Schließungsbogen zu dem andern überströmt, sogleich wieder ersetzt; es findet also hier ein beständiges Strömen der Elektricität statt.

Auch mit der Elektrisirmaschine läßt sich ein beständiger Strom von Elektricität hervorbringen. Zu diesem Zwecke braucht man nur den positiven Conductor mit dem negativen durch einen Draht zu verbinden; durch diesen Draht findet eine continuirliche Ausgleichung der durch das Drehen der Maschine getrennten Elektricitäten statt; die $+$ E strömt von dem positiven Conductor zum negativen und umgekehrt. Natürlich verschwindet dabei jede Spur von elektrischer Spannung auf den Conductoren; es kann ja auf keinem Conductor Elektricität sich anhäufen, weil sie sogleich durch den Draht zum andern Conductor abströmt.

Die Menge der Elektricität, welche den Schließungsbogen einer voltaischen Säule durchströmt, ist aber ohne allen Vergleich größer als die Menge der Elektricität, welche im Verbindungsdraht der beiden Conductoren der Elektrisirmaschine cirkulirt. Der elektrische Strom, welchen die Elektrisirmaschine liefert, kann deßhalb kaum Spuren der mächtigen Wirkungen des Stroms der voltaischen Kette hervorbringen.

Wenn man durch eine große Anzahl von Umdrehungen der Elektrisirmaschine eine große Leidner Flasche oder eine elektrische Batterie geladen hat, und die ganze angehäufte Elektricitätsmenge durch einen sehr dünnen, kurzen Platindraht entladet, so wird er momentan glühend; wenn man aber einen solchen Draht in den Schließungsbogen der voltaischen Säule einschaltet, so bleibt er so lange glühend, als der Strom nicht unterbrochen wird; in jedem Moment liefert also die voltaische Säule wenigstens ebensoviel Elektricität, als durch eine große Anzahl von Umdrehungen der Elektrisirmaschine erzeugt wird.

Ein jeder Apparat, welcher dazu dient, einen fortdauernden elektrischen Strom zu geben, wird eine galvanische Kette genannt; die voltaische Säule ist eine, und zwar die älteste Form der galvanischen Kette.

Die einzelnen Plattenpaare einer galvanischen Kette, also auch der voltaischen Säule, nennt man galvanische Elemente.

Die galvanischen Ketten können nun verschieden seyn: 1) in Beziehung auf die Anzahl der Elemente und 2) in Beziehung auf die Größe der Elemente. Zu manchen Versuchen hat man galvanische Säulen nöthig, die aus vielen Plattenpaaren bestehen, wie die voltaische Säule; zu andern Versuchen hingegen braucht man nur wenige, ja nur Ein Plattenpaar von großer Oberfläche.

Eine Kette von vielen Plattenpaaren hat man überall nöthig, wo man den Strom durch einen Körper hindurchführen will, welcher der Cirkulation der Elektricität einen verhältnißmäßig großen Widerstand entgegensetzt, wenn man also den Strom durch Wasser, durch sehr lange und dünne Drähte u. s. w. leiten will. Die durch die vermehrte Plattenzahl verstärkte Spannung der Pole ist nöthig, um den Durchgang gleichsam zu erzwingen. — Wo aber der Strom durch einen sehr guten Leiter hindurchgeführt werden soll, z. B. durch einen dicken, nicht gar zu langen Kupferdraht, da ist keine große Spannung nöthig, ein Element reicht schon hin und die Stromstärke hängt dann nur von der Größe des Plattenpaares ab.

Ich werde diesen Gegenstand später noch ausführlicher besprechen.

Einundvierzigster Brief.

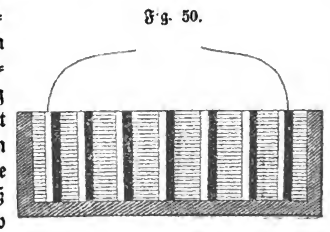
Verschiedene Formen der galvanischen Kette.

Die voltaische Säule ist eben nicht die bequemste und zweckmäßigste Form der galvanischen Kette. Die feuchten Scheiben sind nämlich durch den Druck der auf ihnen lastenden Metallplatten gedrückt, das Wasser oder vielmehr die Salzlösung oder verdünnte Säure, denn diese wendet man doch vorzugsweise zur Befeuchtung der Scheiben an, wird dadurch ausgepreßt und läuft an den Seiten der Säule herab, wodurch eine theilweise Schließung, also eine Schwächung des Stromes stattfindet; ferner ist überhaupt nur wenig Flüssigkeit zwischen den Plattenpaaren, und da

diese durch Auflösung des Metalls bald ihre erregende Kraft verliert, so haben wir hierin einen zweiten Grund einer alsbaldigen Schwächung des Stromes. Außerdem ist das Reinigen der Platten nach dem Gebrauch eine gar mühselige Arbeit. Man ist deßhalb von dieser Form der galvanischen Kette fast ganz abgegangen.

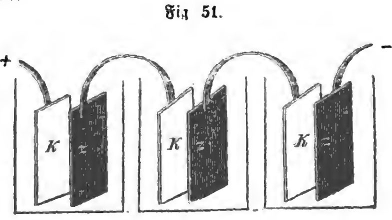
Um das Auspressen der Tuchscheiben zu vermeiden, setzte man die Platten in vertikaler Richtung in einen länglichen Trog von Holz, so daß der Inhalt des Troges durch die einzelnen Plattenpaare in einzelne schmale Zellen getheilt wird, wie dieß in Fig. 50. angedeutet ist, so entstanden die Trogapparate; die Zwischenräume werden alsdann mit der Flüssigkeit gefüllt. Aber auch hier ist die Menge der Flüssigkeit gar gering, so daß ihre chemische Veränderung, welche eine Schwächung des Stromes zur Folge hat, gar rasch fortschreitet. Es kam darauf an, die Menge der Flüssigkeit zu vergrößern, ohne die Platten zu entfernen, und so kam man auf die Becherapparate.

Fig. 50.



Figur 51. stellt einen Becherapparat von drei Elementen dar. In jedem der drei Glasgefäße steht eine Zinkplatte und dieser gegenüber eine Kupferplatte; jede Kupferplatte ist durch einen Kupferdraht mit der Zinkplatte des folgenden Bechers verbunden.

Fig 51.



Eine Kupferplatte und die mit ihr durch den Draht verbundene Zinkplatte des folgenden Bechers entsprechen hier einer zusammengelötheten Zinkkupferplatte der voltaischen Säule; die Flüssigkeit zwischen zwei Platten desselben Bechers entspricht der feuchten Tuchscheibe, welche zwei auf einander folgende Plattenpaare trennt.

Da nun jedenfalls die Stärke des Stromes mit der Größe

Fig 52.



der Plattenpaare zunimmt, so muß man darauf sehen, möglichst große Platten anzuwenden; bei einigermaßen großen Platten müßte man aber schon unförmlich große Gefäße anwenden, wenn die Metallplatten eben sind. Bei gleicher Plattengröße gewinnt man sehr an Raum, wenn man die Platten cylindrisch krümmt, so daß die Kupferplatte einen hohlen Cylinder bildet, innerhalb oder außerhalb dessen sich ein concentrischer hohler Zinkcylinder sich befindet; Fig. 52. stellt ein solches cylindrisches Plattenpaar dar; der Zinkcylinder darf natürlich mit dem Kupfercylinder desselben Glases nicht in metallischer Berührung stehen, dagegen ist der Kupfercylinder eines Glases mit dem Zinkcylinder des folgenden durch einen Kupferdraht oder einen Kupferstreifen verbunden.

Dieß ist die Grundform der neueren galvanischen Ketten, nur hat man sie noch dahin abgeändert, daß sie nicht eine, sondern zwei Flüssigkeiten enthalten, welche durch eine poröse Wand getrennt sind. Dadurch wird ein Strom von constanter Stärke erlangt, und deßhalb heißen solche Ketten mit zwei Flüssigkeiten auch constante Ketten. Wie es kommt, daß die Stärke des Stromes solcher Ketten sehr beständig ist, kann ich Ihnen erst später erklären.

Bei der Becquerel'schen Kette hängt innerhalb des Kupfercylinders ein aus einer Thierblase verfertigter Sack, welcher mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist; außerhalb des Sacks befindet sich eine Auflösung von Kupfervitriol, so also, daß der Kupfercylinder in der Auflösung von Kupfervitriol steht, während der Zinkcylinder sich in der verdünnten Schwefelsäure des Sackes befindet. Die beiden Flüssigkeiten können nicht zu einander überfließen und sind doch in Berührung.

Den aus einer Thierblase gemachten Sack kann man auch durch ein cylindrisches Gefäß eines porösen Thons (der Masse der irdenen Pfeifen) ersetzen; da die Wände eines solchen Gefäßes porös sind, so erlauben sie zwar kein Ausfließen der Flüssigkeiten, wohl aber ein Durchsickern.

Bei der Grove'schen Kette ist das Kupfer durch Platin ersetzt; das Platin steht in Salpetersäure, der Zinkcylinder steht

in verdünnter Schwefelsäure, die beiden Flüssigkeiten sind durch eine poröse Thonzelle getrennt.

Bei der Grove'schen Kette ist der Zinkcylinder meist der größere; innerhalb desselben steht das poröse Thongefäß, welches mit concentrirter Salpetersäure gefüllt ist, in welche dann das Platin eingetaucht wird; außerhalb des Thongefäßes befindet sich verdünnte Schwefelsäure.

Ich habe schon im achtunddreißigsten Briefe angeführt, daß Kohle noch mehr elektronegativ ist als Platin, daß sie sich also sehr gut zu galvanischen Ketten eignen muß, wenn man sie nur in passende Form bringen kann. Das ist nun bei der Kohle der Fall, welche nach der in jenem Briefe kurz angedeuteten Methode bereitet ist. Aus dieser Masse kann man förmliche Kohlencylinder machen und diese dann als negatives Element der galvanischen Kette anwenden.

Die zweckmäßigste Form der Zinkkohlenkette, welche nach ihrem Erfinder auch die Bunsen'sche Kette heißt, ist folgende: In dem Glasgefäß, welches die Salpetersäure enthält, steht der Kohlencylinder; innerhalb des Kohlencylinders steht das poröse, cylindrische Thongefäß, welches verdünnte Schwefelsäure enthält, in die dann ein Zinkcylinder eingesetzt wird.

Will man mehrere Elemente combiniren, so hat man nur den Kohlencylinder eines Glases mit dem Zinkcylinder des folgenden in metallische Verbindung zu bringen.

Zweiundvierzigster Brief.

Wirkungen des galvanischen Stromes.

Wenn man gleichzeitig die beiden Pole einer galvanischen Kette von etwa 50 Elementen, etwa die Pole einer voltaischen Säule, oder die Pole einer aus 50 Elementen bestehenden Zinkkohlenkette mit etwas befeuchteten Fingern berührt, so fühlt man einen eigenthümlichen Schlag, welcher einige Aehnlichkeit mit dem Entladungsschlag der Leidner Flasche hat. Diesen Schlag fühlt man nur im Moment der Schließung; läßt man die Kette geschlossen, so fühlt man jetzt nur noch ein schwaches Prickeln in den Fingern, welches nur bei Säulen von größerer Plattenzahl bedeutender wird. Einen zweiten Schlag fühlt man beim Oeffnen der Kette, d. h. wenn man die Finger von den Polen zurückzieht.

Schon durch eine einfache Kette läßt sich eine blitzartige Erscheinung in den Augen hervorbringen. Man kann den Versuch auf mannigfaltige Weise anstellen; man bringt z. B. eine Silberplatte an den Augapfel selbst oder an das zuvor angefeuchtete Augenlied und berührt sie dann mit einem Zinkstück, welches man in der wohl angefeuchteten Hand hält oder im Mund stecken hat. — Leitet man den Strom einer Säule durch die Augen, so wird die Lichterscheinung stärker.

Legt man ein Zinkstück auf die Zunge, ein Kupferstück darunter, so empfindet man einen eigenthümlich bittern Geschmack, sobald man die vordern Ende beider Metalle in Berührung bringt.

Wenn man die Kette mit einem guten Leiter schließt, so bemerkt man einen Funken; ebenso beim Oeffnen der Kette. Am schönsten beobachtet man diesen Funken, wenn man den an einem Pol befestigten Leitungsdraht in ein Schälchen mit Quecksilber steckt und alsdann den andern Poldraht abwechselnd in das Quecksilber eintaucht und wieder herausnimmt.

Bei dieser Art, den Funken zu erzeugen, wird die Lebhaftigkeit des Funkens noch durch Verbrennung von Quecksilber erhöht.

Der Funke vom Conductor der Elektrisirmaschine, der Funke, welchen man bei Entladung der Leidner Flasche beobachtet, springt schon auf eine namhafte, unter Umständen mehrere Zoll große Entfernung über; nicht so der Funke der galvanischen Kette, die Poldrähte müssen fast bis zur unmittelbaren Berührung genähert werden, oder wenn sie in Quecksilber eingetaucht werden, so muß der zuletzt einzutauchende Draht die Quecksilberfläche schon beinahe vollständig berühren, wenn der Funke erscheinen soll; kurz die Schlagweite der galvanischen Kette, selbst wenn sie aus einer großen Anzahl von Elementen besteht, ist verschwindend klein, woraus folgt, daß die Spannung der Elektricität, wie sie uns die galvanischen Apparate liefern, sehr unbedeutend ist.

Schon im vierzigsten Brief habe ich angeführt, daß ein dünner Platindraht durch den galvanischen Strom glühend gemacht werden kann, und habe Sie darauf aufmerksam gemacht, wie dieser Umstand den Beweis liefert, daß die Menge der im Schließungsdraht einer galvanischen Kette cirkulirenden Elektricität ohne allen Vergleich bedeutender ist, als die Elektricitätsmenge, welche die Elektrisirmaschine zu liefern im Stande ist.

Je größer die Oberfläche der Elemente ist, desto bedeutender sind die Glühphänomene. Ein einziges, aber großes Element

reicht schon hin, um dünnen Draht glühend zu machen. — Je größer die Oberfläche dieses Elementes ist, desto dickere Drähte kann man damit zum Glühen bringen.

Man kann mehrere Bunsen'sche Elemente so combiniren, daß sie wirken wie ein einziges Element von sehr großer Oberfläche, wenn man durch einen Kupferstreifen alle Kohlencylinder und durch einen zweiten alle Zinkcylinder mit einander verbindet. In diesem Falle sind also mehrere einzelne Elemente zu einem großen Element vereinigt, während, wenn das Zink eines Glases immer mit der Kohle des folgenden verbunden ist, die Elemente zur Säule verbunden sind.

Will man z. B. drei Bunsen'sche Elemente zu Glühversuchen anwenden, so wird man einen größeren Effect erhalten, wenn man sie zu einem großen Element vereinigt, als wenn man sie zur Säule combinirt.

Es ist nicht gleichgültig, aus welchem Metall die Drähte bestehen, welche man durch den Strom zum Glühen bringen will, indem Drähte, welche aus gut leitenden Metallen bestehen, z. B. Kupferdrähte, Silberdrähte u. s. w., bei weitem nicht so leicht in's Glühen zu bringen sind als solche Drähte, welche die Elektricität schlechter leiten, wie Eisen- und Platindrähte. Ein Kupferdraht muß schon sehr dünn seyn, wenn ihn der Strom glühend machen soll, während ein viel dickerer Platindraht leicht glüht.

Beim Glühen der Eisendrähte tritt in Folge des Glühens noch eine secundäre Erscheinung auf: das Eisen schmilzt nämlich, der Draht zerfällt in einzelne glühende Kügelchen, welche unter Funkensprühen verbrennen.

Zu den brillantesten Erscheinungen, welche man mit der galvanischen Kette hervorbringen kann, gehört unstreitig das blendende Licht, welches erscheint, wenn man den Strom zwischen Kohlenspitzen übergehen läßt.

Befestigt man an die beiden Pole einer galvanischen Kette zugespitzte Kohlenstücke, am besten von derselben Masse, aus welcher die Kohlencylinder der Bunsen'schen Batterie gemacht sind, so wird man, sobald man diese Spitzen in Berührung bringt, zwischen ihnen ein ungemein glänzendes Licht wahrnehmen. Dieß Licht läßt sich schon mit einer Säule von vier Bunsen'schen Elementen zeigen: da wo sich die Kohlenspitzen berühren, erscheint ein kleiner, sehr hell leuchtender Stern. Wenn man die Zahl der Elemente vermehrt, so nimmt der Glanz der Erscheinung

außerordentlich zu; mit 30 bis 50 zur Säule combinirten Elementen erhält man ein Licht, dessen Intensität das Drümond'sche Kalklicht weit übertrifft; man kann, ohne den Augen wehe zu thun, nicht hineinsehen. Bei Anwendung so vieler Paare kann man auch die Kohlenspitzen, wenn einmal der Strom übergeht, ziemlich weit von einander entfernen, und so erhält man das herrliche Phänomen des Lichtbogens, welcher wahrscheinlich durch glühende Lichtpartikelchen gebildet wird, die von einer Kohle zur andern übergehen.

Da wo der Lichtbogen auf den Kohlen aufsitzt, sind zwei blendendhelle Lichtpunkte, zwischen denen sich der mattere Lichtbogen ausbreitet.

Dreiundvierzigster Brief.

Magnetische Wirkungen des galvanischen Stromes.

Daß eine Beziehung zwischen Elektricität und Magnetismus bestehe, habe ich schon im sechsundzwanzigsten Briefe angedeutet. Betrachten wir jetzt den Gegenstand etwas näher.

Oersted machte, wie ich schon früher bemerkte, die Entdeckung, daß die Magnetnadel durch den galvanischen Strom abgelenkt wird. Sie können den Oersted'schen Fundamentalversuch am einfachsten auf folgende Weise wiederholen: In die Seitenwand eines Holzbrettes, Fig. 54., sind die Enden eines viereckig gebogenen Kupferdrahtes eingesteckt, welche bis in die von oben her in das Brettchen eingebohrten Löcher a b, die 2 bis 3 Linien Durchmesser haben, hineinragen; in diese Löcher wird Quecksilber eingegossen.

Das Brettchen wird nun so gerichtet, daß die Seite d e in den magnetischen Meridian fällt, daß also eine über oder unter das Drahtstück d e gehaltene Magnetnadel mit diesem Drahtstück parallel ist; sobald man nun die Polrähte in das Quecksilbernäpfchen a und b eintaucht, so daß ein galvanischer Strom den Kupferdraht durchlauft, so wird die Magnetnadel augenblicklich aus ihrer bisherigen Gleichgewichtslage abgelenkt.

Nehmen wir an, in a sey der positive, in b sey der negative Pol der galvanischen Kette eingetaucht, so daß der positive Strom in der Richtung von c über d und e nach f cirkulirt, daß er also in dem Drahtstück d e in horizontaler Richtung von Süden nach Norden lauft, so wird das Nordende einer unter den Draht

gehaltenen Magnetnadel nach der linken Seite hin abgelenkt: der Strom zeigt ein Bestreben, die Nadel in die Stellung des Pfeils r zu bringen.

Fig. 54.

Wird die Nadel über das Drahtstück gehalten, so findet eine Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite statt; der Strom äußert ein Bestreben, die Nadel in die Stellung des Pfeiles s zu bringen. (NB. die Spitzen der Pfeile stellen das Nordende der Nadel dar.)

Die Richtung, nach welcher die Nadel abgelenkt wird, ergibt sich leicht nach folgender von Ampere angegebener Regel: Man denke sich in den Draht eine menschliche Figur so eingeschaltet, daß der Strom durch die Füße ein- und am Kopfe austritt; wenn diese Figur nun nach der Nadel hinschaut, so wird das Nordende stets nach ihrer linken Seite abgelenkt.

Eine in das Drahtstück d e eingeschaltete Figur liegt also wagrecht, ihre Füße sind nach Süden, ihr Kopf ist nach Norden gerichtet; wenn die Nadel unter den Draht gehalten wird, so muß man sie auf dem Leibe liegend denken, wenn sie nach der Nadel hinschauen soll; in dieser Lage hat sie offenbar den linken Arm nach Westen, den rechten nach Osten gewendet; nach der Ampere'schen Regel muß also in diesem Fall nur Ablenkung des Nordendes nach Westen stattfinden.

Hält man die Nadel über den Draht, so muß man sich die Figur auf dem Rücken liegend denken, ihre linke Seite ist jetzt nach Osten gerichtet, es muß also eine östliche Ablenkung des Nordendes stattfinden.

Der Strom hat ein Bestreben, die Nadel rechtwinkelig zu seiner Richtung zu stellen; sie nähert sich auch dieser Stellung um so mehr, je mehr man sie dem Draht nähert, je stärker also der Einfluß des Stromes ist; die Ursache, warum sich die Nadel nicht ganz rechtwinkelig zum Strome stellt, ist darin zu suchen, daß außer der Stromkraft noch eine andere Kraft, nämlich der Erdmagnetismus, auf die Nadel wirkt: der Strom

strebt die Nadel rechtwinkelig zu d e, der Erdmagnetismus strebt sie parallel mit d e zu stellen, unter dem Einfluß beider Kräfte muß also die Nadel eine Zwischenlage annehmen, welche von dem Verhältniß beider Kräfte abhängt; je größer die richtende Kraft des Stromes gegen die des Erdmagnetismus ist, desto größer wird der Winkel werden, welche die Nadel mit dem magnetischen Meridian macht.

Nicht allein in dem Drahtstück d e wirkt der Strom auf die Nadel. Welche Richtung auch ein vom Strom durchlaufener Draht haben mag, immer wirkt er auf die Nadel, immer findet ihre Ablenkung nach der Ampere'schen Regel statt.

Hält man die Nadel über das Drahtstück c d oder unter das Drahtstück e f, so wirkt die Kraft des Stromes dahin, der Nadel dieselbe Stellung zu geben, in welche sie auch der Erdmagnetismus stellt, nämlich in die Lage der Pfeile t, die Nadel wird also jetzt in verstärkter Kraft im magnetischen Meridian zurückgehalten.

Wenn sich die Nadel unter c d oder über e f befindet, so strebt der Strom, der Nadel gerade die entgegengesetzte Stellung zu geben, wie der Erdmagnetismus, d. h. der Strom strebt das Nordende der Nadel nach Süden zu stellen, sie also in die bei u angedeutete Stellung zu bringen.

Da der Strom auf den Magnetismus der Nadel wirkt, so läßt sich auch erwarten, daß er auch magnetische Wirkungen auf das weiche Eisen ausüben wird; so ist es auch in der That; hält man ein Stäbchen weiches Eisen quer unter oder über einen Draht, der von einem kräftigen Strome durchlaufen ist, so wird es magnetisch, was man daran erkennt, daß Eisenfeile an seinen Enden hängen bleibt. Um dem weichen Eisen einen kräftigen Magnetismus zu ertheilen, reicht es aber nicht hin, den Strom einmal drüber hinzuführen, man muß ihn in vielen Windungen um dasselbe herumführen.

Fig. 55.



In Fig. 55. stellt a b einen Eisenstab dar, welcher mit Kupferdraht umwickelt ist; wäre der Kupferdraht unmittelbar auf das Eisen gewickelt worden, so würde, wenn die Drahtenden mit den Polen der galvanischen Kette in Verbindung gebracht werden, der Strom alsbald von dem Drahte in den Eisenkern übergehen

und so auf dem kürzesten Wege zum andern Pol zu gelangen; wenn aber der Strom nicht in das Eisen und auch nicht seitwärts von einer Windung zur andern übergehen, sondern alle Windungen ihrer ganzen Länge nach durchlaufen soll, so muß der aufzuwindende Kupferdraht sorgfältig mit Seide übersponnen seyn.

Ist der Eisenstab a b in gehöriger Weise mit einer Spirale von Kupferdraht umgeben, so wird er alsbald zum kräftigen Magnete, sobald ein Strom in dieser Spirale cirkulirt; der Magnetismus des Eisenstabes verliert sich aber sogleich wieder, wenn der Strom unterbrochen wird.

Welches Ende des Stabes zum Nordpol, welches zum Südpol wird, läßt sich nach der Ampere'schen Regel leicht bestimmen. Eine in die Windungen eingeschaltet gedachte kleine menschliche Figur, in die der Strom bei den Füßen ein-, beim Kopf austritt und die nach dem Stabe hinsieht, wird den Nordpol des Stabes zu ihrer Linken haben.

Vierundvierzigster Brief.

Elektromagnete.

Wenn ein Magnet eine starke Tragkraft äußern soll, so gibt man ihm eine hufeisenförmige Gestalt; ebenso bei Elektromagneten; um Elektromagnete von großer Tragkraft zu machen, wendet man Uförmig gebogene Eisen an, welche mit Windungen von übersponnenem Kupferdraht umwickelt sind. Für diese Windungen wählt man am besten einen recht dicken Kupferdraht, damit derselbe dem elektrischen Strome nur einen geringen Widerstand entgegensetze und man also ein einziges oder doch nur einige großplattige galvanische Elemente anwenden könne.

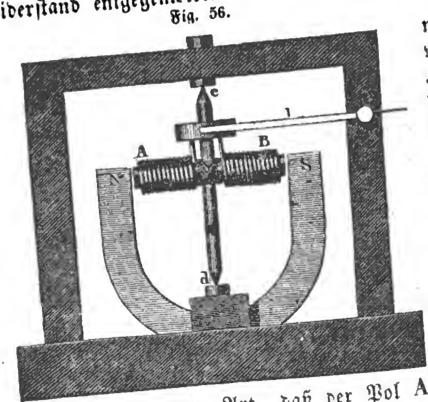
Man hat auf diese Weise Elektromagnete hergestellt, die 2000 bis 3000 Pfund zu tragen im Stande sind.

Die Kraft der Elektromagnete rief bald die Idee hervor, dieselben als bewegende Kraft zu benützen; ich will es jetzt versuchen, Ihnen klar zu machen, auf welche Weise durch Elektromagnete eine continuirliche rotirende Bewegung hervorgebracht werden kann.

Sie sehen in Fig. 56. einen Uförmigen Magneten abgebil-

det, dessen beide Pole N und S nach oben gerichtet sind. Zwischen diesen beiden Magnetpolen ist ein cylindrischer Eisenstab A B um eine vertikale Axe c d drehbar, die in Spitzen lauft, so daß der Rotation des Eisenstabes A B nur ein geringer Widerstand entgegenwirkt.

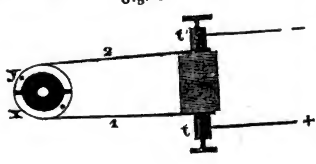
Fig. 56.



Der Eisenstab ist nun mit Windungen von übersponnenem Kupferdraht versehen, so daß er augenblicklich magnetisch wird, sobald ein elektrischer Strom diese Windungen durchlauft. Nehmen wir an, der Magnetismus, welchen der galvanische Strom eben in dem Eisenstab A B hervorruft, sey von der Art, daß der Pol A von N und B von S abgestoßen wird, so wird sich der Magnetstab um seine Axe drehen, bis A bei S und B bei N angekommen ist; hier würde der Elektromagnet nun nach einigen Oscillationen zur Ruhe kommen, wenn alles ungeändert bliebe; wenn aber der Strom in den Windungen, welche A B umgeben, in demselben Augenblick umgekehrt wird, in welchem A bei S und B bei N ankommt, so wird der eben noch von N angezogene Pol B wieder abgestoßen, der Stab A B wird also weiter rotiren, und zwar wird diese Rotation eine continuirliche seyn, wenn nach jeder halben Umdrehung von A B ein Stromwechsel in den das weiche Eisen umgebenden Windungen, also in dem Eisenstab A B selbst nach jeder halben Umdrehung ein Polwechsel stattfindet.

Sehen wir nun zu, wie den Drahtwindungen der galvanische Strom zugeführt, und wie die Umkehrung des Stromes bewerkstelligt wird. An der Umdrehungsaxe des Elektromagneten befindet sich eine Scheibe, deren

Fig. 57.



Umfang durch zwei halbkreisförmige metallene Kämme gebildet ist, die weder unter sich, noch mit der Axe selbst in leitender Verbindung stehen, wie dies aus dem horizontalen Querschnitt der Scheibe Fig. 57. deutlich ersichtlich ist, wo die isolirende Substanz, welche die beiden Kämme trennt und ihre Berührung mit der Axe hindert, schwarz gezeichnet ist. In dem einen Metallkamm steckt das eine, in dem andern das andere Ende des um A B gewundenen Kupferdrahtes. Auf jeder Seite drückt nun eine Metallfeder gegen den Ring, welche seitwärts am Gestelle bei t befestigt ist; hier werden nun auch die Poldrähte der galvanischen Kette eingeschraubt, wie Sie dies aus den Figuren leicht übersehen können.

Die eine Feder drückt gegen den vordern, die andere gegen den hintern Metallkamm; in der Stellung, wie sie die Figur eben darstellt, drückt die Feder 1 gegen den Kamm x, die Feder 2 gegen den Kamm y; der positive Strom geht also durch die Feder 1 und den Kamm x in die Spirale ein und tritt durch den Kamm y und die Feder 2 wieder aus; da aber die Axe rotirt, so wird y bald mit der Feder 1, x aber mit der Feder 2 in Berührung kommen, und nun cirkulirt der Strom in entgegengesetzter Richtung, die Pole des Elektromagneten sind durch diesen Polwechsel umgekehrt worden.

Die Umkehrung der Pole geschieht immer in dem Augenblick, in welchem der rotirende Elektromagnet in der geraden Linie ankommt, welche die Magnetpole S und N verbindet.

Das Modell, welches ich Ihnen eben beschrieben habe, kann nur dazu dienen, anschaulich zu machen, wie durch Elektromagnete eine continuirliche Rotation hervorgebracht werden kann. Nach diesem Princip sind die elektromagnetischen Motoren von Jakobi und Wagner gebaut; leider hat Wagner über die Construction seiner Apparate, die gewiß viel sinnreiche Vorrichtungen enthalten, noch nichts publicirt.

Die Effecte, welche man mit solchen elektromagnetischen Motoren bis jetzt hervorbrachte, haben den Erwartungen, die man von ihnen hegte, nicht entsprochen; daran sind zwei Ursachen Schuld, von denen ich die eine erst in einem spätern Briefe besprechen kann. Die andere Ursache, warum man immer nur geringe Resultate erhielt im Vergleich zur Stärke, welche die Elektromagnete durch den elektrischen Strom erlangen können, ist folgende: Bei der Umkehrung des Stromes findet ein Polwechsel im Elektromagneten statt; damit aber dieser Polwechsel auch voll-

ständig sey, damit der Magnetismus für die neue Lage der Pole wieder seine volle, der Stromstärke entsprechende Kraft erlange, ist immerhin einige, wenn auch nicht gar große Zeit nöthig, kurz das weiche Eisen zeigt sich gleichsam träg gegen die Umkehrung der Pole.

Der Stahl wird unter dem Einfluß eines Magneten nicht so leicht magnetisch, er verliert aber auch den Magnetismus, welchen man ihm einmal mitgetheilt hat, nicht so schnell wieder wie das weiche Eisen, und darauf beruht ja eben die Verfertigung künstlicher Magnete von Stahl. Ein Stahlstab, der einmal magnetisch gemacht worden ist, behält seinen Magnetismus.

Wollte man statt des weichen Eisens AB in unserm Apparat einen Stahlstab anwenden, so würde der Apparat nur sehr geringe Wirksamkeit haben, weil der Strom den Stahlstab nicht so schnell zum Magneten machen, und alsbald wieder seine Pole umkehren kann; es würde dem Stahlstab doch immer nur ein schwacher Magnetismus mitgetheilt werden können, weil der Strom schon wieder umgekehrt wird, bevor er noch dem Stahlstab einen kräftigen Magnetismus mittheilen konnte.

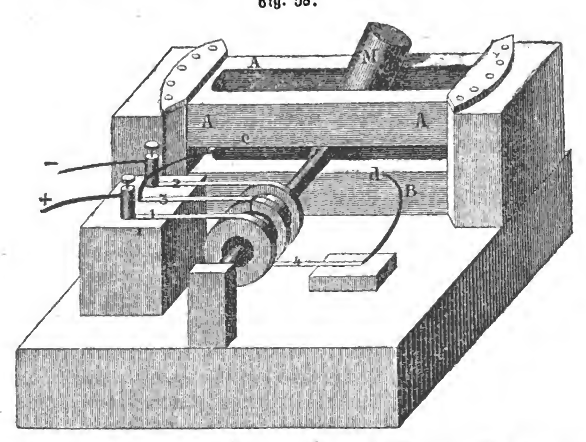
Wenn nun auch im weichen Eisen die Umkehrung der Pole ungleich leichter vor sich geht, als im Stahl, so ist sie doch nicht momentan, der Polwechsel kann nicht so rasch vor sich gehen, wie der Stromwechsel in den Drahtwindungen, weil das Eisen der Umkehrung der Pole einigen Widerstand entgegensetzt; dieser Widerstand ist um so größer, je größer die Eisenmassen sind, welche als Elektromagnete rotiren sollen; namentlich bei größern Maschinen wird also die Trägheit des Eisens in Beziehung auf den Polwechsel besonders störend seyn, und in der That haben auch gerade größere Maschinen verhältnißmäßig weit ungünstigere Resultate gegeben, als kleinere Modelle.

Die Nachtheile der nicht momentanen Umkehrung der Magnetpole im weichen Eisen hat Stöhrer in Leipzig auf eine sehr sinnreiche Weise zu vermeiden gewußt; in meinem nächsten Briefe werde ich Ihnen das Princip der von Stöhrer construirten elektromagnetischen Motoren auseinandersetzen.

Fünfundvierzigster Brief.

Elektromagnetische Motoren und elektrische Telegraphen.

Fig. 58.



In Fig. 58. stellen A und B zwei längliche Rahmen vor, welche durch zahlreiche Windungen von etwas dickem übersponnenem Kupferdraht gebildet sind; bei c tritt der Draht in die Windungen des obern Drahtrahmens ein; bei d tritt er aus dem untern Rahmen aus, die Windungen des untern Rahmens bilden die Fortsetzung der Windungen des obern; ein elektrischer Strom also, welcher durch den Draht bei c eintritt, durchläuft erst die Windungen des obern, dann die des untern Rahmens und tritt durch das bei d hervorragende Drahtende aus.

Zwischen den beiden Rahmen, welche in horizontaler Lage im Gestell befestigt sind, ist ein Zwischenraum, durch welchen die horizontale Umdrehungsaxe eines Stahlmagneten M hindurchgeht; dieser Magnet kann in einer verticalen Ebene innerhalb der beiden Rahmen rotiren.

Nehmen wir an, der Magnet habe eine wagrechte Stellung, d. h. er befinde sich gerade ganz innerhalb der Rahmen; wenn nun ein elektrischer Strom die Drahtwindungen der Rahmen durchläuft, so äußert dieser Strom ein Bestreben, den Magneten so zu drehen, daß er rechtwinklig zu der Ebene der Rahmen zu

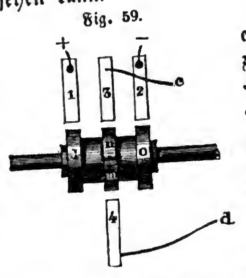
stehen kommt, daß also der Magnet eine verticale Stellung einnimmt, mithin der eine Pol nach oben, der andere nach unten sieht. Der Strom in den Rahmen laufe so, daß er den Nordpol des Magneten nach oben, seinen Südpol nach unten dreht; hätte der Strom in den Rahmen eine entgegengesetzte Richtung, so würde er gerade den Südpol des Magneten nach oben und den Nordpol nach unten richten.

Jedenfalls wird also der Strom in den Rahmen den Magneten vertical stellen, und wenn in demselben Augenblick, in welchem der Magnet diese Lage erreicht, die Stromrichtung in den Rahmen umgekehrt wird, so wird der Magnet in der verticalen Stellung nicht stehen bleiben können, sondern weiter rotiren müssen, weil der Magnetpol, der eben oben angekommen war, durch die veränderte Stromrichtung gerade nach der entgegengesetzten Seite hin getrieben wird; kurz, wenn nach jeder halben Umdrehung des Magneten eine Umkehrung der Stromrichtung in den Windungen der Rahmen erfolgt, so muß der Magnet fortwährend rotiren. Es findet also hier eine continuirliche Rotation ohne Umkehrung der Magnetpole statt, der in meinem vorigen Briefe erwähnte störende Umstand kann also hier keine nachtheilige Wirkung äußern.

Sehen wir nun zu, auf welche Weise es bewerkstelligt werden kann, daß der Strom in den Drahtwindungen nach jeder halben Umdrehung der Axe umgekehrt werden kann.

Die Umkehrung des Stromes wird durch eine Vorrichtung hervorgebracht, welche den Namen des Commutators führt, und deren Einrichtung man sowohl aus Fig. 58. als aus Fig. 59. ersehen kann.

Fig. 59.



Auf der eisernen Umdrehungsaxe sitzt eine hölzerne Hülse, auf der dann wieder zwei eiserne Hülsen sitzen; die erste Hülse hat an ihrem einen Ende den ganz kreisförmigen Kamm l, an ihrem andern Ende den halbkreisförmigen Kamm m; ebenso endigt die andere Hülse einerseits mit dem ganz kreisförmigen Kamm o, anderseits mit dem Kamm n, welcher wieder nur einen Halbkreis bildet.

Die halbkreisförmigen Kämme m und n bilden zusammen

einen ganzen Ring, doch stehen sie nicht mit einander in leitender Verbindung, sie sind durch eine isolirende Substanz (etwa Siegellack), welche in unsern Figuren schwarz angedeutet ist, getrennt.

Auf l schleift die Metallfeder 1, auf o die Metallfeder 2. In die Säulchen, welche auf diesen Federn sitzen, können die Poldrähte einer galvanischen Kette eingeschraubt werden.

Auf dem durch m und n gebildeten Ringe schleifen zwei Federn, die eine 3 oben, die andere 4 unten. Zu diesen Federn führen die Enden des Drahtes, welcher die Windungen der Rahmen bildet. Wenn in dem Säulchen der Feder 1 der positive, in dem Säulchen der Feder 2 der negative Poldraht der galvanischen Kette eingeschraubt ist, so geht die positive Elektricität durch die Feder 1 auf l und m über, die negative durch die Feder 2 auf o und n, es ist also gleichsam m der positive, n der negative Pol der Kette.

In der Stellung, wie sie die Figur zeigt, schleift die Feder 3 auf n, 4 auf m (der Deutlichkeit halber sind die Federn in Fig. 59. etwas abgerückt gezeichnet), es tritt also der positive Strom bei d in die Rahmenwindungen ein, bei c aber aus; wenn sich aber die Axe dreht, so kommt alsbald n mit 4 und m mit 3 in Berührung, und nun tritt der positive Strom bei c ein und bei d aus, kurz nach jeder halben Umdrehung der Axe erfolgt durch Vermittelung des Commutators eine Umkehrung der Stromrichtung in den Windungen der Rahmen, durch welche die continuirliche Rotation des Magneten bewirkt wird.

Ich habe Ihnen hier nur das Princip des Stöhrer'schen Apparates auseinandersetzen können; die wirklich ausgeführten Apparate dieser Art sind complicirter; zunächst ist der Magnet durch einen Elektromagneten ersetzt, dessen Pole jedoch auch nicht umgekehrt werden; alsdann aber ist an der Umdrehungsaxe ein kleines Zahnrad befestigt, welches in ein größeres eingreift; an der Axe dieses größern Rades ist eine Welle mit Schnurlauf angebracht, an den man ein Gewicht hängen kann, welches durch die Rotation des Elektromagneten gehoben wird; auf diese Weise ist man im Stande, die mechanische Arbeit, welche ein solcher Apparat verrichten kann, zu messen.

Um den Magneten oder den Elektromagneten rotiren zu machen, muß ein galvanischer Strom die Drahtwindungen durchlaufen; die Circulation des Stroms kann aber nicht stattfinden, ohne daß in der galvanischen Kette eine chemische Veränderung statt-

findet, wie ich Ihnen bald näher zeigen werde; es wird Zink aufgelöst, welches sich mit der Schwefelsäure zu Zinkvitriol verbindet; die Wirkung des Apparates hängt also nothwendig mit der Consumtion einer gewissen Menge Zink und Schwefelsäure zusammen. Wenn man beurtheilen will, ob elektromagnetische Motoren wohl eine technische Anwendung erlauben, ob sie andere bewegende Kräfte, die Thierkraft, die Dampfkraft u. s. w. mit Vortheil ersetzen können, muß man vor allen Dingen ermitteln, in welchem Verhältniß die mechanische Arbeit eines elektromagnetischen Motors zu der Consumtion in der galvanischen Säule steht.

Nach genauen Versuchen, welche Stöhrer über diesen Gegenstand angestellt hat, ist die Consumtion in der Kette sehr bedeutend im Vergleich zur erhaltenen Wirkung, so daß es also viel kostspieliger ist, irgend eine mechanische Arbeit durch einen elektromagnetischen Motor verrichten zu lassen, als wenn man dieselbe Arbeit mit irgend einem andern Motor, also etwa durch Thier- oder Dampfkraft verrichtet. Einer technischen Anwendung elektromagnetischer Motoren steht also ihre Kostspieligkeit entgegen, obgleich die Stöhrer'schen Maschinen noch günstigere Resultate liefern als alle frühern.

Nun noch einige Worte über elektrische Telegraphen. Die Geschwindigkeit, mit welcher der elektrische Strom lange Drahtwindungen durchläuft, ist außerordentlich; nach Wheatstone's Messungen ist sie größer als die Geschwindigkeit des Lichtes; man kann demnach mit Hülfe langer Drahtleitungen irgend welche Effecte des galvanischen Stroms augenblicklich auf große Entfernungen übertragen, und darauf beruhen die elektrischen Telegraphen. Bei allen jetzt practisch ausgeführten Telegraphen sind es die magnetischen Wirkungen des Stromes, welche man zum Signalisiren angewandt hat.

Denken Sie sich, daß die beiden Enden der Drahtwindungen, welche ein weiches Eisen umgeben, meilenweit bis zu einem Orte geführt sind, an welchem eine galvanische Kette aufgestellt ist. Sobald nun mittelst dieser langen Drähte die Kette geschlossen wird, so wird auch augenblicklich das meilenweit entfernte weiche Eisen zum Magneten: es ist nun im Stande, einen Anker von Eisen anzuziehen; dieser Anker wird aber durch eine schwache Feder alsbald wieder von dem Elektromagneten weggedrückt, sobald man die Kette wieder öffnet; durch abwechselndes Schließen

und Oeffnen der Kette kann man also bewirken, daß der Anker des entfernten Elektromagneten abwechselnd sich gegen die Pole des Elektromagneten hin bewegt und dann wieder von demselben entfernt wird; man kann also auf meilenweite Entfernung abwechselndes Hin- und Hergehen des Ankers bewirken, und diese Bewegung des Ankers kann man dann durch zweckmäßige Vorrichtungen, deren Verständniß ohne ausführliche Zeichnungen nicht wohl möglich ist, und die ich deßhalb hier nicht weiter besprechen kann, zum Signalisiren anwenden.

Ein anderes Princip, auf welches man die Construction elektrischer Telegraphen gegründet hat, ist folgendes. Um eine Magnetnadel sey ein Draht in mehrfachen Windungen herumgeführt und die meilenlangen Drahtenden zu einer galvanischen Kette geleitet, so kann man durch Oeffnen und Schließen der Kette eine augenblickliche Ablenkung der Nadel bewirken, und zwar kann man sie nach Belieben nach der einen oder andern Seite ablenken, je nach der Art, wie man die Kette schließt, und hier kann man dann die Ablenkungen der Nadel als Signale gebrauchen.

Ich muß mich hier auf die Angabe des Princips beschränken; denn die practisch ausgeführten Telegraphen sind so complicirt, daß eine detaillirte Beschreibung derselben ohne sehr viele Detailzeichnungen gar nicht möglich ist.

In meinem nächsten Briefe werde ich die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes besprechen.

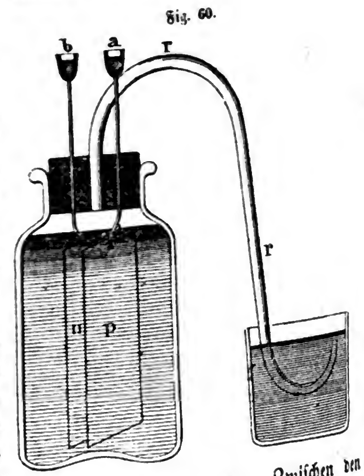
Sechsundvierzigster Brief.

Von der galvanischen Wasserzersetzung.

Wenn man die beiden Poldrähte in ein Gefäß taucht, welches mit gesäuertem Wasser (etwa Wasser mit etwas Schwefelsäure) gefüllt ist, so sieht man, wie sich an den Drähten zahlreiche Gasbläschen bilden, die alsbald in der Flüssigkeit aufsteigen.

Diese Gasentwickelung wird lebhafter, wenn man die Polenden mit Platten eines edlen Metalls, etwa mit Platinplatten versieht, und diese in der Flüssigkeit einander gegenüber hält, so daß eine nicht gar dicke Wasserschichte zwischen ihnen ist.

Um das Gas aufzufangen, können Sie einen Apparat anwenden, wie ihn die Fig. 60. darstellt, den Sie sich zur Noth selbst zusammenstellen können. In den ungefähr $1^1/_2$ Zoll weiten



Hals eines Glasgefäßes von der Form, wie es Fig. 60. abgebildet ist, paßt ein gut schließender Kork. Durch diesen Kork gehen zwei Drähte hindurch, welche unten zwei Platinplatten tragen, die etwa 1 bis 2 Linien von einander abstehen. Diese Platten sind gerade so breit, daß sie durch den Hals des Glasgefäßes hindurchgehen. An dem obern Ende trägt jeder dieser Drähte ein kleines Näpfchen von Kupferblech, in welches Quecksilber eingegossen wird. Zwischen den beiden Drähten steckt im Kork die gekrümmte Glasröhre.

Der Kork muß ganz luftdicht schließen, was am besten dadurch erreicht wird, daß man die untere Fläche desselben mit Wachs oder mit Siegellack überzieht. Wenn man den Kork mit Allem, was daran ist, aus dem Glase herausnimmt, so kann man es mit gesäuertem Wasser füllen. Nachdem der Kork wieder aufgesetzt ist, werden die Poldrähte in die Quecksilbernäpfchen eingetaucht, und alsbald entsteht eine lebhafte Gasentwicklung, das gebildete Gas entweicht durch die Röhre r.

Taucht man das freie Ende der Röhre r in ein Gefäß mit Wasser, so steigen die Gasblasen durch dieses Wasser in die Höhe; hält man dahin, wo die aufsteigenden Gasblasen die Oberfläche der Flüssigkeit erreichen, einen brennenden Holzspahn, so platzen die Bläschen unter lebhaftem Knall, indem sich das Gas entzündet. Das entweichende Gas in einem Gefäß aufzufangen und in diesem zu entzünden, würde gefährlich seyn, weil die Explosion zu heftig wird, wenn die Menge des Gases nur einigermaßen bedeutend ist. Das hier aus der Röhre r entweichende Gas ist Knallgas, d. h. eine Verbindung von Sauerstoffgas und Wasserstoffgas. Bei der Entzündung verbinden sich beide Gase zu Wasserdampf.

Wenn man die Gasentwickelung an den beiden Platten auf-

merksam beobachtet, so bemerkt man, daß an der einen Platte, und zwar an derjenigen, in deren Quecksilbernäpfchen der negative Pol eingetaucht ist, eine weit stärkere Gasentwicklung stattfindet als an der andern, daß also die beiden Pole eine wesentliche Verschiedenheit zeigen; zur näheren Untersuchung derselben ist es nöthig, das Gas einer jeden Polplatte getrennt aufzufangen, d. h. so, daß es sich nicht mit dem Gas der andern Polplatte mischen kann.

Dazu ist nun der Apparat Fig. 60. nicht brauchbar. In Fig. 61. habe ich Ihnen einen Apparat zur getrennten Auffangung der Gase gezeichnet, wie er sehr leicht ausführbar ist. In der Wand eines cylindrischen Holzgefäßes, welches oben offen ist, stecken zwei Kupferdrähte, welche die Platinplatten p und n tragen, die nicht ganz bis zur Höhe des Gefäßrandes hinaufragen; bei c und d sind Quecksilbernäpfchen angebracht, um die Poldrähte der galvanischen Kette aufzunehmen. Der Boden und die Holzwände des Holzgefäßes müssen mit einer Schicht von Pech oder Siegellack überzogen seyn, so daß das Wasser nicht in das Holz eindringen kann.

Fig. 61.

Das Holzgefäß wird nun so weit mit Wasser gefüllt, daß die Platten p und n ganz unter Wasser stehen; alsdann werden zwei Glasröhren mit Wasser gefüllt, das offene Ende zugehalten und in das Wasser des Holzgefäßes eingetaucht; nun kann das Wasser aus den Röhren nicht mehr ausfließen, wenn man auch die Oeffnungen nicht mehr zuhält, und man kann die mit Wasser gefüllte Röhre so über die Platinplatten schieben, wie man es in Fig. 61. sieht.

Wird nun bei d der positive, bei c der negative Poldraht der voltaischen Kette eingetaucht, so beginnt die Gasentwickelung, das Gas, welches an der einen Platinplatte aufsteigt, sammelt sich in der einen, das Gas der andern Platinplatte sammelt sich in dem obern Theil der andern Glas-

röhre. In der Röhre über n wächst aber die Gasmenge weit rascher als in der Röhre über p; in der ersten befindet sich stets doppelt so viel Gas als in der letztern; wenn die Röhre über n schon ganz mit Gas gefüllt ist, so ist die andere Röhre erst halb voll.

Die aufgefangenen Gase müssen jetzt näher untersucht werden. Verschließen Sie die Oeffnung der Röhre, welche das meiste Gas enthält, noch unter Wasser mit dem Finger oder einer kleinen Glasplatte, nehmen Sie dieselbe aus dem Wasser und kehren Sie die Oeffnung nach oben, so wird das Gas mit schwach leuchtender Flamme brennen, wenn der Finger oder das Glasplättchen von der Oeffnung der Röhre weggenommen und ein brennendes Schwefelhölzchen derselben genähert wird; das Gas in der über n befindlichen Röhre war also Wasserstoffgas.

Verfährt man mit der andern Röhre ebenso, taucht man aber statt eines mit Flamme brennenden Spanes einen nur noch glimmenden in die Röhre, so wird das glimmende Feuer wieder angefacht, es tritt eine lebhafte Verbrennung des Spanes ein. Daraus geht hervor, daß das Gas in dieser Röhre Sauerstoffgas war.

Die Chemie lehrt uns, daß sich immer zwei Raumtheile Wasserstoffgas mit einem Raumtheile Sauerstoffgas zu Wasser verbinden; durch den galvanischen Strom wird also aus dem Wasser Sauerstoffgas und Wasserstoffgas gerade in dem Verhältnisse ausgeschieden, in welchem diese Gase sich verbinden müssen, um Wasser zu liefern, kurz das Wasser wird durch den galvanischen Strom in seine Elemente zerlegt.

Hätte man statt der Polplatten von Platin solche von Zink angewendet, so würde man nur an der negativen Polplatte Gas aufsteigen sehen, es scheint also, als ob nur Wasserstoffgas ausgeschieden würde, aber kein Sauerstoffgas, weil man an der positiven Polplatte keine Gasentwickelung beobachtet.

Doch findet auch hier eine vollständige Wasserzersetzung statt, der Sauerstoff steigt aber an der positiven Polplatte nicht auf, weil er sich, eben aus dem Wasser ausgeschieden, sogleich wieder mit dem Zink zu Zinkoxyd verbindet, welches mit der Schwefelsäure Zinkvitriol bildet. Wenn die Wasserzersetzung einige Zeit fortgedauert hat, so ist eine namhafte Menge Zinkvitriol im Wasser aufgelöst, welchen man durch Abdampfen des Wassers krystallisirt erhalten kann.

Siebenundvierzigster Brief.

Wasserzersetzung. Fortsetzung.

Auf den ersten Anblick macht es einige Schwierigkeit, einzusehen, wie es kommt, daß die beiden Gase, welche die Bestandtheile des Wassers bilden, bei der galvanischen Zerlegung getrennt, d. h. an verschiedenen Stellen auftreten. Wenn ein Wassertheilchen zersetzt wird, so zerfällt es in Wasserstoffgas und Sauerstoffgas; wie kommt es aber, daß bei der Zerlegung der Wassertheilchen, welche die negative Polplatte berühren, nur Wasserstofftheilchen, bei der Zerlegung derjenigen Wassertheilchen aber, welche den positiven Pol berühren, nur Sauerstoffbläschen frei werden? Wo kommt der Sauerstoff hin, welcher mit dem am negativen Pol freiwerdenden Wasserstoff verbunden war?

Fig. 62.

Die Physiker erklären die Sache folgendermaßen: Durch den Einfluß der Polplatten werden alle zwischen denselben befindlichen Wassertheilchen so gerichtet, daß der Wasserstoff aller Wasserpartikelchen gegen die negative, der Sauerstoff aber gegen die positive Polplatte gekehrt ist, wie dies in Fig. 62 anschaulich gemacht werden soll; p und n bezeichnen die Polplatten; die Kreise zwischen den Polplatten stellen die einzelnen Wasserpartikelchen vor. Jeder dieser Kreise ist in zwei Hälften getheilt, von denen die eine schwarz, die andere weiß ist; die schwarze Hälfte bezeichnet den Sauerstoff, die weiße den Wasserstoff des Wassertheilchens; alle schwarzen Hälften sind gegen die Platte p, alle weißen sind gegen die Platte n gekehrt. Man stellt sich nun vor, daß in ähnlicher Weise die Wassertheilchen zwischen die Polplatten gestellt sind, daß alle ihren Wasserstoff nach der einen, ihren Sauerstoff nach der andern Seite kehren. Nun wird z. B. das Wassertheilchen 1 zersetzt; der Sauerstoff dieses Theilchens wird frei, sein Wasserstoff aber verbindet sich mit dem Sauerstoff von 2, der Wasserstoff von 3, 4, 5 u. s. w. verbindet sich mit dem Sauerstoff von 4, 5, 6 u. s. w. Der Wasserstoff von 7 verbindet sich mit dem Sauerstoff von 8, der Wasserstoff von 8, welcher an der negativen Polplatte liegt, wird aber frei.

So geht denn auf der ganzen Reihe zwischen den Polplatten eine fortwährende Wasserzersetzung und Wasserbildung vor sich, nur an den Polplatten kann eine Gasausscheidung vor sich gehen.

Der Sauerstoff wandert von Theilchen zu Theilchen der positiven, der Wasserstoff wandert auf gleiche Weise der negativen Polplatte zu.

Um Wasser zu zersetzen, hat man eine Säule von wenigstens zwei Elementen nöthig; am besten wendet man aber zur Wasserzersetzung 4 — 6 Elemente an. Die Zersetzung findet aber nicht allein im Zersetzungsapparate statt, sondern in allen einzelnen Zellen der Säule; in jedem Element findet eine Wasserzersetzung statt; das Wasserstoffgas wird am Kupfer frei und steigt hier in Blasen auf, während das an den Zinkplatten frei werdende Sauerstoffgas sich mit diesem Metall zu Zinkoxyd verbindet, welches mit der Schwefelsäure Zinkvitriol (schwefelsaures Zinkoxyd) bildet; während der Strom cirkulirt, wird also beständig Zink aufgelöst, und zwar ist die Stromstärke der Menge des verzehrten Zinks proportional.

Amalgamirtes Zink, d. h. solches, welches mit einer Quecksilberschicht überzogen ist (die Amalgamation des Quecksilbers wird leicht dadurch bewerkstelligt, daß man die Zinkplatte oder den Zinkcylinder in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß stellt, auf dessen Boden sich etwas Quecksilber befindet; das Quecksilber steigt an der Zinkplatte in kurzer Zeit bis oben hin), wird in verdünnter Schwefelsäure gar nicht angegriffen; wendet man solches Zink zur voltaischen Kette an, so findet in den einzelnen Zellen gar keine Gasbildung statt, so lange die Säule nicht geschlossen ist, so lange also kein Strom circulirt; mit der Schließung der Kette beginnt aber sogleich in allen Zellen eine lebhafte Wasserzersetzung; in jeder Zelle wird jetzt gerade ebensoviel Wasser zersetzt, wie in dem in den Strom eingeschalteten Wasserzersetzungs-Apparat; an der Kupferplatte jedes Elements steigt gerade soviel Wasserstoffgas auf, wie an der negativen, an der Zinkplatte jedes Elementes verbindet sich ebensoviel Sauerstoff mit dem Zink, als an der positiven Polplatte des Wasserzersetzungs-Apparates frei wird. In jedem Element der Kette wird also gleichviel Zink aufgelöst und die Menge des in jedem Elemente aufgelösten Zinkes steht in einem ganz bestimmten Verhältniß zu der Menge des Wassers, welches im Zersetzungs-Apparat in seine Elemente zerlegt wird.

Die Menge des Wassers, welches zwischen den Polplatten des Zersetzungs-Apparates zerlegt wird verhält sich zu der Menge des in jedem Elemente der Kette aufgelösten Zinkes wie 112 zu 403.

Hätte man bei Einschaltung des Zersetzungs-Apparates Fig. 60. in den Schließungsbogen der Kette den Strom so lange fortgehen lassen, bis in diesem Apparat gerade 1 Gramm Wasser zersetzt worden, bis derselbe also um 1 Gramm leichter geworden wäre, so würde unterdeß jede Zinkplatte um $3^6/_{10}$ Gramm leichter geworden seyn.

Die Menge des in jeder Zelle aufgelösten Zinkes steht also in einem bestimmten Verhältniß zur Stromstärke, ja durch die chemische Zersetzung wird die Elektrizität durch die Flüssigkeit hindurchgeführt; der Sauerstoff führt auf seiner Wanderung von der negativen Polplatte zur positiven auch die negative Elektricität in dieser Richtung fort, der zum negativen Pole wandernde Wasserstoff ist der Träger der in dieser Richtung cirkulirenden positiven Elektricität.

Diese bestimmte Beziehung der Consumtion an Zink und der Stärke des Stromes findet natürlich nur dann statt, wenn nur in Folge des cirkulirenden Stromes Zink aufgelöst wird, wie es der Fall ist, wenn man amalgamirte Zinkplatten anwendet. Ist das Zink nicht amalgamirt, so wird es unmittelbar von der Säure angegriffen, es wird in Folge einer rein chemischen Wirkung an jeder Zinkplatte Wasser zersetzt, wenn auch die Kette nicht geschlossen ist.

In unsern Wasserstoffzündmaschinen findet eine solche Wasserzersetzung in Folge der chemischen Einwirkung der verdünnten Schwefelsäure auf das Zink statt. Wenn man den Hahn der Zündmaschine, deren Einrichtung Ihnen wohl hinlänglich bekannt ist, öffnet, so steigt die Flüssigkeit in der innern Glocke in die Höhe und kommt dadurch mit dem in dieser Glocke aufgehängten Zinkblock in Berührung. Augenblicklich entsteht eine lebhafte Gasentwickelung; der Sauerstoff des Wassers oxydirt das Zink, das Zinkoxyd verbindet sich mit der Schwefelsäure zu Zinkvitriol, welcher in der Flüssigkeit gelöst bleibt; der Wasserstoff des zerlegten Wassers steigt in Bläschen von dem Zinkblock auf und sammelt sich in dem obern Theile der innern Glocke; wenn der Hahn wieder geschlossen ist, so daß das Gas nicht entweichen kann, so drückt es die Flüssigkeit wieder nieder und bei einem abermaligen Oeffnen des Hahns strömt das Wasserstoffgas gegen das Platinschwämmchen, während unten wieder Flüssigkeit eintritt, die eine neue Gasbildung veranlaßt.

Bei dieser chemischen Wasserzersetzung steigen also Gasblasen

am Zink auf; bei der rein galvanischen Wasserzersetzung dagegen wird das Wasserstoffgas nur an der Kupferplatte aufsteigen; sobald man also in einer voltaischen Kette auch an der Zinkplatte Gasblasen aufsteigen sieht, so ist dies ein sicherer Beweis, daß außer der galvanischen Wasserzersetzung auch noch eine rein chemische stattfindet, daß also eine unnütze Consumtion an Zink stattfindet, welche durch bessere Amalgamation der Zinkplatten verhütet werden muß.

Achtundvierzigster Brief.

Galvanoplastik.

Wenn man den Apparat Fig. 60. oder Fig. 61. nicht mit verdünnter Schwefelsäure, sondern mit einer Auflösung von Kupfervitriol füllt, so beobachtet man folgende Erscheinungen: Am positiven Pol steigen wie bei der in den beiden letzten Briefen beschriebenen galvanischen Wasserzersetzung Bläschen von Sauerstoffgas auf, an der negativen Polplatte aber sieht man kein Gas aufsteigen, dagegen wird die negative Polplatte schon nach wenigen Augenblicken kupferroth, was man erst recht deutlich sieht, wenn man sie aus der Flüssigkeit herausnimmt.

Diese rothe Färbung der negativen Polplatte ist eine Folge davon, daß sie sich mit einer Schicht von metallischem Kupfer überzieht, welches aus der Lösung ausgeschieden wird.

Der Vorgang hierbei ist folgender: Direct wird durch den galvanischen Strom das Wasser der Lösung zersetzt, das Sauerstoffgas wird an der positiven Polplatte frei, das Wasserstoffgas wird an der negativen Polplatte ausgeschieden, es wird aber hier nicht frei, sondern es entzieht dem in der Lösung befindlichen Kupferoxyd seinen Sauerstoff, mit dem es wieder Wasser bildet, während das aus dem Kupferoxyd ausgeschiedene metallische Kupfer sich auf der negativen Polplatte absetzt.

Wenn dieser Proceß längere Zeit fortdauert, so setzt sich allmählig eine dicke Schichte von Kupfer ab; das auf diesem Wege erhaltene sogenannte galvanische Kupfer ist chemisch rein.

Die aus der Lösung niedergeschlagene Kupferschicht hat natürlich genau die Form der negativen Polplatte; man darf dieser also nur irgend eine bestimmte Form geben, um dieselbe getreu in Kupfer wiedergegeben zu erhalten; nimmt man z. B. eine Silber-

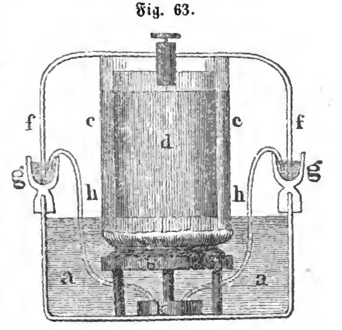
münze zum negativen Pole, so erhält man einen Kupferabdruck derselben, dessen Vertiefungen den Erhabenheiten des Originals entsprechen.

Wollte man ohne Weiteres die Silbermünze zum negativen Pol machen, so würde sich das Kupfer ringsum an das Silber ansetzen, die Silbermünze würde ganz vom Kupfer eingehüllt werden. Um dies zu verhindern, überzieht man alle Flächen derselben, so wie alle in die Vitriollösung tauchenden Leitungsdrähte, auf welche sich kein Kupfer niederschlagen soll, mit Siegellack

Damit sich die niedergeschlagene Kupferschichte leicht vom Original trennt, muß man vorher die Flächen der Münze etwas mit Oel einreiben, dies aber dann so weit wieder wegwaschen, daß eben nur noch Spuren des Oels zurückbleiben.

Wenn der Kupferniederschlag schön und gleichförmig werden soll, so muß der Strom sehr schwach seyn; man darf deßhalb nur Ein voltaisches Element anwenden und dies nur mit schwacher Säure füllen.

Fig. 63.



Am zweckmäßigsten wendet man zur galvanoplastischen Vervielfältigung eine einfache Kette von der nebenbei gezeichneten Einrichtung an. In einem Porcellangefäß a Fig. 63 steht auf den Füßen ein Holzring b, auf welchen ein mit einer Thierblase zugebundenes Zuckerglas c gestellt ist. Der Rand der mit der Blase zugebundenen Oeffnung steht auf dem Holzring, der Boden des Glases ist abgesprengt, so daß man also ein oben offenes Gefäß hat, dessen Boden durch eine Blase gebildet ist. In diesem Gefäß hängt nun an einem auf den Rändern aufliegenden Drahte eine Zinkplatte d. Die Enden des die Zinkplatte tragenden Kupferdrahtes tauchen in die Quecksilbernäpfchen g, aus denen zwei andere Kupferdrähte h zur Form k führen. Das Gefäß c ist mit stark verdünnter Schwefelsäure, das Gefäß a ist mit einer Lösung von Kupfervitriol gefüllt.

Die Form k muß von einem edlern Metalle, wenigstens von Kupfer seyn; alle Flächen derselben, auf die sich kein Kupfer aus

der Lösung absetzen soll, sind mit Siegellack oder einem andern Isolator überzogen, eben so die Drähte h und k, deren Metall nur da frei ist, wo sie die Form berühren.

Hier haben wir eine einfache galvanische Kette; die Form ist das negative, die Zinkplatte das positive Element derselben. Der positive Strom geht vom Zink durch die Flüssigkeiten zur Form; indem aber der Strom auf diese Weise die Flüssigkeiten durchlauft, findet eine entsprechende chemische Zersetzung statt; in dem obern Gefäß ist die Wasserzersetzung von einer Auflösung des Zinks begleitet, in dem untern Gefäß dagegen wird metallisches Kupfer auf der Form niedergeschlagen.

Wenn man als Form eine Münze, etwa eine Silbermünze einsetzt, so erhält man einen Abdruck, welcher die Erhabenheiten des Originals vertieft zeigt, und umgekehrt. Soll der Kupferniederschlag der Münze selbst gleich seyn, d. h. soll der Kupferniederschlag die Erhabenheiten des Originals auch wieder als Erhabenheiten zeigen, so muß man von der Münze erst einen Abdruck, etwa von leichtflüssigem Metall (eine Legirung von 4 Theilen Wismuth, 1 Theil Blei und 1 Theil Zinn) machen und diesen als Form in den Apparat einsetzen.

Neunundvierzigster Brief.

Fortsetzung.

Statt des leichtflüssigen Metalls kann man zur Herstellung der Form auch Wachs oder Stearin anwenden; man thut gut, dem Wachs etwas fein gepulverten, ungebrannten Gyps (also etwa Gyps von einer zerbrochenen Gypsfigur) beizumischen, was neben andern Vortheilen auch noch den gewährt, daß eine solche Form nicht auf der Lösung von Kupfervitriol schwimmt, wie es bei einer nur aus Wachs gebildeten Form der Fall ist.

Aber, werden Sie fragen, wie kann denn ein Wachsabguß die metallische Form ersetzen? Das Wachs ist kein Leiter der Elektricität, das Wachs kann in keiner Weise mit Zink combinirt ein wirksames galvanisches Element geben, wie Zink und Kupfer, Zink und Silber u. s. w.

Dieser Einwurf ist völlig gegründet; mit einer Wachsform würde man nie einen galvanischen Kupferniederschlag erzielen, wenn man sie an die Stelle der negativen Polplatte setzen wollte,

es müßte denn die Oberfläche dieser Wachsform auf irgend eine Weise metallisch und also auch leitend gemacht worden seyn.

Dieß erreicht man nun dadurch, daß man die Fläche, auf welcher sich das Kupfer absetzen soll, mit ganz feinem Graphitpulver oder mit feiner Silber= oder Kupferbronce bestreut und das metallische Pulver mit einem zarten Pinsel einreibt. Dadurch erhält die Oberfläche einen ganz feinen metallischen Ueberzug, ohne daß die Schärfe des Abgusses auch nur im Mindesten leidet. Sobald die so präparirte Form in die Kupfervitriollösung eingetaucht, und die metallischen Enden der Drähte h auf die metallische Oberfläche aufgesetzt sind, wird die Kette dadurch geschlossen, daß die Zinkplatte d in das Gefäß c und die an ihr befestigten Drähte f in die Quecksilbernäpfchen g eingetaucht werden.

Die Bildung des Kupferniederschlags geht von den Punkten aus, an welchen die Drähte h die Form berühren; es müssen deßhalb diese Drähte von Zeit zu Zeit auf andern Stellen aufgesetzt werden. Je nachdem der Strom stärker oder schwächer ist, hat der Kupferniederschlag nach mehreren Tagen eine hinreichende Dicke erlangt, um abgelöst werden zu können.

Auf diese Weise lassen sich Medaillen, Basreliefs u. s. w. in Kupfer vervielfältigen.

Man hat in neuerer Zeit für die Technik sehr wichtige Anwendungen von der Galvanoplastik gemacht; es ist nämlich gelungen, durch Galvanoplastik Holzschnitte mit aller Feinheit des Originals zu vervielfältigen, so daß man beim Druck diese Kupfertypen statt des Originalholzschnittes anwenden kann; eine solche Kupfertype hält ungleich mehr Abdrücke aus als der Holzschnitt selbst, und da man ja gleich beliebig viel dem Originalschnitt völlig gleiche Kupfertypen machen kann, so hat man nicht mehr zu fürchten, daß spätere Abdrücke schlechter werden als die früheren. — Aehnlich ist es mit gestochenen Kupferplatten. Eine Kupferplatte kann nur 1000, höchstens 1500 gute Abdrücke liefern; mit Hülfe galvanischer Vervielfältigung der Originalplatte kann man aber jetzt beliebig viele gute Abdrücke eines Kupferstiches erhalten.

Weil die späteren Abdrücke von Kupferplatten nicht mehr so rein und scharf sind wie die früheren, so haben die ersten Abdrücke einer Kupferplatte einen größeren Werth; um diese ersten Abdrücke von den späteren leicht erkenntlich zu machen, werden die ersten Abdrücke abgezogen, ehe noch die Schrift unter der Platte ist, weßhalb sie Abdrücke avant la lettre genannt werden.

— Der Umstand, daß die Kupferplatten nicht sehr viel gute Abdrücke aushalten, brachte den Stahlstich in Aufnahme; für die Kunst ist dieß von entschiedenem Nachtheil, weil die Härte des Materials dem Künstler so große Schwierigkeiten in den Weg legt, daß er in Stahl kein so vollendetes Kunstwerk liefern kann wie in Kupfer. Durch die Galvanoplastik wird nun wohl der Stahlstich wieder etwas zurückgedrängt werden, und die Abdrücke avant la lettre haben nicht mehr den Werth wie sonst, weil man jetzt eine ungleich größere Zahl gleich guter Abdrücke liefern kann.

So wie man aus einer Auflösung von Kupfervitriol das metallische Kupfer am negativen Pole einer galvanischen Kette ausscheiden kann, ebenso kann man auch durch den galvanischen Strom Gold und Silber aus geeigneten Auflösungen auf bestimmte metallische Formen niederschlagen, welche den negativen Pol der Kette bilden, und darauf beruht die galvanische Vergoldung und Versilberung. Die galvanische Vergoldung läßt sich ungleich leichter ausführen als die bis jetzt übliche Feuervergoldung, welche darin besteht, daß man Gold in Quecksilber auflöst, mit dem Gold-Amalgam die zu vergoldenden Gegenstände bestreicht und dann das Quecksilber im Feuer verdampft, so daß nur noch das Gold zurückbleibt. Dieß Verfahren leidet an zwei Uebelständen, es ist kostspielig, weil das verdampfte Quecksilber verloren geht; es ist ferner der Gesundheit der Arbeiter sehr nachtheilig, weil die eingeathmeten Quecksilberdämpfe im Organismus als Gift wirken; diesen Uebelständen ist die galvanische Vergoldung nicht ausgesetzt, sie ist wohlfeiler und der Gesundheit durchaus nicht nachtheilig, man sollte also wohl meinen, daß die Quecksilbervergoldung bald ganz durch die galvanische Vergoldung verdrängt werden würde; bis jetzt ist dieß jedoch noch nicht der Fall, weil sich das Vorurtheil verbreitet hat, die galvanische Vergoldung sey nicht so dauerhaft wie die Feuervergoldung. Diese Meinung mag wohl dadurch entstanden seyn, daß galvanisch vergoldete Gegenstände in der That sehr bald beim Gebrauche an den hervorragenden Stellen ihren Goldüberzug verloren, woraus aber nur folgt, daß man sie nicht dick genug mit Gold überzogen hatte. Bei der Feuervergoldung hat die Goldschicht von selbst schon eine namhafte Dicke, bei der galvanischen Vergoldung kann man aber den zu vergoldenden Gegenständen schon durch einen unendlich dünnen Ueberzug das Ansehen vollkommener Vergoldung geben; dieser allzudünne Ueberzug muß sich aber natürlich auch sehr bald

abnützen. Dieß beweist aber nichts gegen die galvanische Vergoldung überhaupt, da ja auch die galvanische Vergoldung eben so haltbar ist wie die Quecksilbervergoldung, wenn man nur den Goldüberzug hinlänglich dick werden läßt.

Fünfzigster Brief.

Elektrochemische Theorie.

In derselben Weise wie Wasser werden auch Metalloxyde, Chlormetalle u. s. w. durch den elektrischen Strom zerlegt; dabei scheidet sich Sauerstoff oder Chlor stets am positiven Pol, der mit ihnen verbunden gewesene metallische Körper am negativen Pole aus.

Davy hat, wie ich bereits früher erwähnte, auch die Alkalien zerlegt, und den Beweis geliefert, daß sie eine Verbindung von Sauerstoff mit metallischen Körpern sind, die sich eben wegen ihrer großen Verwandtschaft zum Sauerstoff nur sehr schwierig isolirt darstellen lassen. Welche Bedeutung diese Entdeckung für die Wissenschaft hatte, habe ich bereits schon oben angedeutet.

Schon früher hatte man wohl vermuthet, daß eine innige Beziehung zwischen elektrischer Anziehung und chemischer Verwandtschaft bestehen müsse; diese Idee erhielt aber erst eine Basis, als die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes entdeckt wurden. Man versuchte nun die chemische Verwandtschaft als das Resultat elektrischer Anziehung zu erklären, wonach sich dann die chemischen Wirkungen des Stromes von selbst ergaben, und so entstand die sogenannte elektrochemische Theorie, welche freilich noch an manchen Mängeln leidet, die uns aber doch ein Band liefert, welches zwei große Erscheinungsreihen, die elektrischen und die chemischen, verbindet.

In Beziehung auf den Zusammenhang zwischen Chemismus und Elektricität sind freilich die Gelehrten noch nicht einig, es wird über diesen Gegenstand noch vielfach hin- und hergestritten. Es würde mich zu weit führen, wenn ich mich weiter in die Besprechung dieser Controverse einlassen wollte, was ich um so mehr unterlassen zu können glaube, als die Akten dieses Streites wohl noch lange nicht geschlossen sind, und ein definitives Urtheil vor sich der Hand noch nicht geben läßt. Dagegen will ich versuchen, Ihnen die verbreitetste Ansicht über den fraglichen Gegenstand wenigstens in ihren Grundzügen zu entwickeln.

So wie Zink und Kupfer, mit einander in Berührung gebracht, entgegengesetzt elektrisch werden, eben so denkt man sich, daß die Atome je zweier Elemente entgegengesetzt elektrisch werden, wenn sie mit einander in Berührung kommen, und in Folge dieser entgegengesetzten Elektricität ziehen sie sich an, und daher die chemische Verwandtschaft. Nach dieser Ansicht über chemische Verwandtschaft müssen sich alle Elemente (Grundstoffe) in eine Reihe zusammenstellen lassen, welche der sogenannten Spannungsreihe entspricht, die Sie schon oben kennen gelernt haben, d. h. die Elemente müssen sich so in eine Reihe zusammenstellen lassen, daß jedes vorhergehende, mit dem folgenden in Berührung gebracht, negativ elektrisch wird. Die folgende Tabelle enthält die wichtigsten und bekannteren Elemente in dieser Weise geordnet:

—	Blei
Sauerstoff	Eisen
Schwefel	Zink
Stickstoff	Wasserstoff
Chlor	Mangan
Phosphor	Aluminium
Kohlenstoff	Calcium
Gold	Barium
Platin	Natrium
Silber	Kalium
Kupfer	+

Die Reihenfolge dieser Körper ist nicht wie bei der Spannungsreihe der Metalle durch direkte Versuche bestimmt, sondern meist aus dem chemischen Verhalten der Körper geschlossen.

Nach der elektrochemischen Theorie sind die Atome der Elemente an und für sich noch nicht elektrisch, sie werden es erst in Berührung mit andern, und so kommt es denn, daß ein und derselbe Körper bald positiv, bald negativ elektrisch werden kann. So bildet z. B. der Schwefel in Verbindung mit Sauerstoff das elektropositive, mit Wasserstoff das elektronegative Element.

Je weiter zwei Elemente in dieser Reihe von einander abstehen, desto größer ist die elektrische Differenz, welche bei ihrer Berührung auftritt, desto größer die Kraft, mit welcher sie sich anziehen, desto größer also ihre chemische Verwandtschaft.

Sauerstoff hat nur eine geringe Verwandtschaft zu Gold, Platin und Silber; zu Blei, Eisen und Zink, welche in der Spannungsreihe schon weiter vom Sauerstoff abstehen, ist seine

Verwandtschaft schon bedeutend größer. Noch weit größer ist die Verwandtschaft des Sauerstoffs zu den metallischen Grundlagen der Erden und Alkalien, also zum Aluminium (metallischer Bestandtheil der Thonerde), zum Calcium (metallischer Bestandtheil der Kalkerde), zum Natrium und Kalium (welche sich mit Sauerstoff zu Kali und Natron verbinden).

Eben weil die Körper, welche das elektropositive Ende der Spannungsreihe bilden, eine so außerordentlich starke Verwandtschaft zum Sauerstoff haben, hält es schwer, sie vom Sauerstoff zu trennen und getrennt zu erhalten, und daher kommt es auch, daß die Zusammensetzung der Alkalien und Erden erst so spät entdeckt wurde.

Zunächst verbinden sich die einfachen Stoffe immer je zwei zu binären Verbindungen. Diese binären Verbindungen, also z. B. die Sauerstoff-, Schwefel- und Chlorverbindungen, zeigen unter sich ein ähnliches Verhalten wie die einfachen Stoffe unter sich; diejenigen binären Verbindungen der Grundstoffe, welche sich durch negativ elektrische Eigenschaften auszeichnen, werden Säuren genannt; diejenigen, welche in ihren weiteren Verbindungen die Rolle des elektropositiven Bestandtheils spielen, wie die Alkalien, Erden und Metalloxyde, nennt man Salzbasen. Bei der Zerlegung eines Salzes wird die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole ausgeschieden. Der Charakter der Säure wird sich im Allgemeinen um so stärker ausdrücken, je näher ihre Elemente dem negativen Ende der Spannungsreihe liegen; daher ist die Schwefelsäure die stärkste aller Säuren. Der Sauerstoff bildet Säuren mit den in der Spannungsreihe oben stehenden Körpern, Basen hingegen mit den am positiven Ende stehenden Elementen, und in der That ist Kali (Kalium und Sauerstoff) die stärkste aller Basen.

Die elektrochemische Theorie reicht in ihrer jetzigen Gestalt freilich noch nicht aus, um alle chemischen Erscheinungen vollständig zu erklären; aber die auf sie gegründete Classification der Körper stimmt mit dem Verhalten derselben recht gut überein, und ist sehr geeignet, von den chemischen Gesetzen eine klare Ansicht zu geben.

Einundfünfzigster Brief.

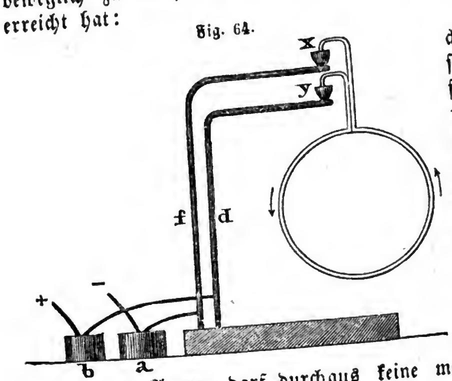
Einwirkung elektrischer Ströme auf einander.

Noch einmal muß ich auf die Beziehungen zwischen Magnetismus und Elektricität zurückkommen. Die Betrachtung der chemischen Wirkungen des Stromes hat uns dahin geführt, elektrische und chemische Erscheinungen aus einem und demselben Prinzip abzuleiten, und ebenso liegt es nun nahe zu untersuchen, ob nicht auch Magnetismus und Elektricität Wirkungen derselben Grundkraft sind. Betrachten wir deßhalb die gegenseitigen Wirkungen zwischen elektrischen Strömen und Magneten noch etwas näher.

Der elektrische Strom kann eine bewegliche Magnetnadel ablenken und ihr eine bestimmte Richtung geben; es läßt sich demnach vermuthen, daß ein fester Magnet auch im Stande seyn wird, auf einen beweglichen elektrischen Strom richtend zu wirken, daß zwischen einem beweglichen Strom und einem festen Magnet anziehende und abstoßende Wirkungen beobachtet werden müssen, ganz so wie zwischen zwei Magneten.

Um solche Wirkungen nachzuweisen, ist es nöthig, den Leitungsdraht, welchen der elektrische Strom durchläuft, sehr leicht beweglich zu machen, was Ampere durch folgende Einrichtung erreicht hat:

Fig. 64.



In einem Brettchen sind zwei Messingsäulchen befestigt, welche oben rechtwinkelig umgebogen sind und an ihren Enden Quecksilbernäpfchen x und y tragen, von denen das eine genau vertikal unter dem andern steht. Zwischen den beiden Säulchen und ihren horizontalen Armen darf durchaus keine metallische Verbindung bestehen.

An dem untern Ende kann in jeden Messingstab ein Kupferdraht eingeschraubt werden, der zu einem Quecksilbergefäß führt;

so steht denn der eine Messingstab mit dem Quecksilbergefäß a, der andere mit b in leitender Verbindung.

In die Quecksilbernäpfchen x und y wird nun ein kreisförmig gebogener Kupferdraht eingehängt. Die beiden Enden dieses Kupferdrahtes sind mit nach unten gerichteten Spitzen versehen. Die Spitze des oberen Drahtendes ist von Stahl und sitzt, der leichteren Beweglichkeit wegen, auf einer Glas- oder Achatplatte, welche den Boden des Quecksilbergefäßes x bildet; die untere Spitze sitzt nicht auf, sie ist nur in das Quecksilber des untern Quecksilbernäpfchens eingetaucht. Da wo die beiden Drahtenden sich etwa berühren können, sind sie mit Seide umwickelt, so daß der Strom nicht von einem Drahtende zum andern übergehen kann, sondern den kreisförmigen Draht seiner ganzen Länge nach durchlaufen muß.

Der Strom durchlauft den kreisförmigen leicht beweglichen Draht, sobald man in die Quecksilbergefäße a und b die beiden Poldrähte einer galvanischen Kette eintaucht. Wenn in b der positive, in a der negative Poldraht eingetaucht ist, so geht der positive Strom durch den Messingstab d zum Quecksilbernäpfchen y, von diesem durch den beweglichen Leitungsdraht in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung x und von da durch f nach a.

Nähert man diesem beweglichen Strome einen Magnetstab, so beobachtet man augenblicklich eine kräftige Einwirkung, der bewegliche Draht wird um seine vertikale Axe gedreht, und kommt endlich nach einigen Oscillationen in einer bestimmten Lage zur Ruhe.

Da ein Magnet eine richtende Kraft auf den beweglichen Leiter ausübt, so kann man erwarten, daß auch der Erdmagnetismus diesen Leiter richten werde, wenn auch mit geringerer Kraft. Wenn man den Draht sich ganz selbst überläßt, so stellt er sich so, daß seine Ebene rechtwinkelig auf dem magnetischen Meridian steht.

Für die Stellung des Gleichgewichts reicht aber die eine Bedingung, daß die Ebene des Drahts rechtwinkelig auf dem magnetischen Meridian steht, noch nicht hin; der Draht ist nur dann in seiner Gleichgewichtslage, wenn außer dieser Bedingung auch noch die erfüllt ist, daß diejenige Hälfte des kreisförmigen Drahtes, in welcher der positive Strom aufsteigt, nach Westen gekehrt ist. Sieht man nun den kreisförmigen Strom von Norden her an, so hat man den aufsteigenden Strom zur Rechten, sieht man ihn von Süden her an, so hat man ihn zur Linken.

Fig. 65.

n s

Ersetzt man den kreisförmigen beweglichen Draht, den wir so eben betrachteten, durch einen Schraubendraht, wie er Fig. 65. dargestellt ist, so werden die Beziehungen zwischen der Stromrichtung in den Windungen und der magnetischen Polarität noch anschaulicher; der Schraubendraht ist so eingerichtet, daß wenn er in die Quecksilbernäpfchen x und y des Gestelles Fig. 64. eingehängt ist, der Strom in gleicher Richtung alle einzelnen Windungen durchläuft; da sich nun alle einzelnen unter sich parallelen Windungen rechtwinkelig auf den magnetischen Meridian stellen, so ist klar, daß die Längenaxe des ganzen Schraubendrahts sich in den magnetischen Meridian stellen muß; der ganze Schraubendraht wird sich also verhalten wie eine Magnetnadel, das eine Ende wird sich nach Norden, das andere wird sich nach Süden richten.

Wenn sich der Schraubendraht unter dem Einfluß des Erdmagnetismus gerichtet hat, so wird in jeder einzelnen Windung der positive Strom auf der Westseite aufsteigen, auf der Ostseite niedergehen. Sieht man den Nordpol des Schraubendrahts von Norden her an, so hat man den aufsteigenden Strom zur Rechten; sieht man den Südpol von Süden her an, so hat man den aufsteigenden Strom der Windungen auf der Linken.

Kehrt man, wenn der Schraubendraht unter dem Einfluß des Erdmagnetismus gerichtet ist, den Strom um, indem man den Poldraht aus a in b und von b in a taucht, so werden die Pole des Schraubendrahts gewechselt, der ganze Schraubendraht macht eine Umdrehung von 180°, so daß das Ende, welches eben nach Norden schaute, nun nach Süden gerichtet ist.

Nähert man diesem Schraubendrahte einen Magnetstab, so wird das eine Ende angezogen, das andere wird abgestoßen; kurz der Schraubendraht zeigt die größte Aehnlichkeit mit einem Magneten.

Zweiundfünfzigster Brief.

Ampere's Theorie des Magnetismus.

Die große Aehnlichkeit zwischen einem Schraubendraht, welcher von einem elektrischen Strome durchlaufen wird, und einem Mag-

neten, führte bald zu der Idee, daß die magnetischen Erscheinungen selbst durch elektrische Ströme hervorgebracht seyn könnten, welche die einzelnen Eisen- oder Stahltheilchen umkreisen. Eisen oder Stahl ist magnetisch, wenn die elektrischen Ströme, welche die einzelnen Theilchen umkreisen, in allen dieselbe Richtung haben, wenn also alle diese kleinen Partialströme unter sich parallel sind; die Ebene dieser einzelnen kleinen Ströme steht dann natürlich rechtwinkelig auf der Axe des durch sie gebildeten Magneten.

Fig. 66.

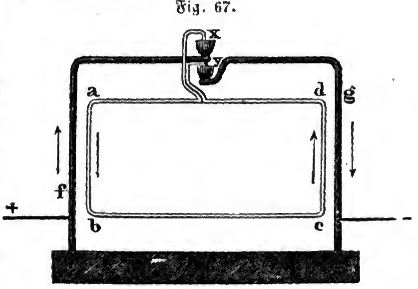


In jedem Querschnitt eines Magneten muß man nach dieser Theorie eine Menge kleiner gleichgerichteter Kreisströme annehmen; statt aller dieser elementaren Ströme aber, welche in einem Querschnitt des Magnetstabs liegen, kann man sich denselben von einem einzigen Strome umkreist denken, welcher gleichsam die Resultirende aller elementaren Ströme dieses Querschnittes ist, und somit läßt sich ein Magnetstab als ein System unter sich paralleler geschlossener Ströme denken, ungefähr so wie es Fig. 66. anschaulich macht.

Hält man den Nordpol gegen sich gewendet, so geht der hypothetische Strom auf der linken Seite des Magneten nieder, auf der rechten in die Höhe; ist aber der Südpol gegen den Beschauer gewendet, so steigt der Strom auf der linken Seite auf und geht auf der rechten nieder.

Um die gegenseitige Anziehung und Abstoßung magnetischer Pole auf elektrische Ströme zurückführen zu können, mußte Ampere erst noch das gegenseitige Verhalten von Strömen auf Ströme untersuchen; er fand, daß sich parallele Ströme anziehen, entgegengesetzte aber abstoßen.

Fig. 67.



Dieser Satz läßt sich mit Hülfe des beistehend gezeichneten Apparates, Fig. 67., nachweisen. Auf einem Brett stehen zwei Messingstäbe, f und g, welche oben rechtwinkelig umgebogen, mit dem Boden ein Viereck bilden. Die beiden horizontalen Arme tragen die

Quecksilbernäpfchen x und y, welche genau vertikal über einander stehen; in diese Näpfchen wird ein längliches, aus Draht gebogenes Rechteck ganz eben so eingehängt, wie der von Kupferdraht gebogene Ring in die Näpfchen des Gestelles Fig. 64. Schraubt man nun die Poldrähte in die Messingstäbe ein, bringt man den Drahtrahmen in die Stellung, wie die Figur zeigt, so cirkulirt der positive Strom wie es die Pfeile andeuten; in f steigt der positive Strom auf, in dem Drahtstück ab, welches f zunächst liegt, geht er nieder; eben so hat der Strom in g und dem g zunächstliegenden Drahtstück dc eine entgegengesetzte Richtung.

In der, in Fig. 67. dargestellten Lage kann nun das Rechteck, wenn man es sich selbst überläßt, nicht bleiben, denn ab wird von f und cd wird von g abgestoßen; in Folge dieser Abstoßung dreht sich der bewegliche Drahtrahmen um seine vertikale Umdrehungsaxe, und zwar dreht er sich um 180°, bis cd bei f und ab bei g angekommen ist, in welcher Lage er sich alsdann feststellt, weil sich cd und f, ab und g anziehen. Dieser Versuch zeigt also deutlich, daß sich parallele Ströme anziehen, entgegengesetzte aber abstoßen.

Mit Hülfe dieses Satzes läßt sich die gegenseitige Wirkung der Magnetpole erklären, wenn man annimmt, daß die Stahlstäbe von elektrischen Strömen umkreist sind, wie es die Ampere'sche Theorie fordert.

Fig. 68.



Figur 68. stellt zwei Magnetstäbe dar, von denen der eine seinen Nordpol dem Südpol des andern zukehrt; ein Blick auf die Figur genügt, um sich zu überzeugen, daß in den einander zugekehrten Polen die Ströme parallel laufen, daß also Anziehung stattfindet.

Fig. 69.



Wird nun der eine Magnet, etwa der rechts, so umgekehrt, daß jetzt zwei gleichnamige Pole, hier zwei Südpole, einander entgegenstehen, so muß nun offenbar eine Abstoßung stattfinden, weil in den einander zugekehrten Polen die Ströme entgegengesetzte Richtung haben. Ist der eine Magnet fest, der andere beweglich, so wird sich der bewegliche so weit drehen, daß nun in beiden die Ströme wieder parallel sind.

Nach dieser Ansicht erklärt sich auch die magnetische Wirkung

der Erde ganz einfach durch die Annahme, daß die Erdkruste von elektrischen Strömen durchlaufen wird; diese Ströme in der Erdkruste muß man sich stets rechtwinkelig zum magnetischen Meridian, und zwar den positiven Strom von Osten nach Westen laufend denken.

Dreiundfünfzigster Brief.

Inductions-Erscheinungen.

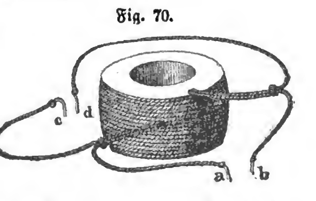
Ein Magnet macht schon auf einige Entfernung hin ein ihm genähertes weiches Eisen magnetisch; ein elektrischer Körper kann auch, in die Ferne wirkend, einen isolirten Leiter durch Vertheilung elektrisch machen; dieß drängt uns zu der Frage hin, ob nicht auch elektrische Ströme eine solche Wirkung auf nahe liegende Leiter ausüben können, daß sie blos durch ihre Nähe in diesen Leitern auch elektrische Ströme erzeugen können.

Allerdings findet etwas der Art statt, wie Faraday, der überhaupt schon eine Menge der wichtigsten Thatsachen für die Elektricitätslehre zu Tag gefördert hat, zeigt. Faraday machte nämlich die wichtige Entdeckung, daß in einem in sich zurücklaufenden Leitungsdraht ein Strom hervorgerufen wird, sobald ein benachbarter Draht von einem Strom durchlaufen wird. Faraday nennt diese Wirkung eines Stromes auf eine benachbarte geschlossene Drahtspirale Induction; man sagt nach Faraday, durch den elektrischen Strom in dem einen Drahte sey in dem andern Drahte ein Strom inducirt worden.

Betrachten wir die Sache etwas näher.

Auf einer Spule von Holz seyen zwei mit Seide übersponnene Kupferdrähte so aufgewickelt, wie ma- es bei Fig. 70. sieht. Der eine Draht läuft hier neben dem andern her, ohne daß zwischen beiden eine leitende Verbindung stattfindet; wenn also ein Strom den einen Draht durchlauft, so kann er nicht unmittelbar in den andern übergehen.

Fig. 70.



a und b sind die Enden des einen, c und d die des andern Drahtes. Der Uebersichtlichkeit wegen ist es gut, wenn die beiden neben einander herlaufenden Drähte mit verschiedenfarbiger (etwa der eine mit rother, der andere mit grüner) Seide über-

sponnen sind; ich will auch des bequemeren Ausdruckes wegen den einen Draht den rothen, den andern aber den grünen nennen.

Wenn man die Enden c d des einen, etwa des grünen Drahtes mit einander in Verbindung bringt, so entsteht in diesem (grünen) Draht augenblicklich ein elektrischer Strom, wenn man mit den Drahtenden a und b des andern (rothen) Drahtes eine galvanische Kette schließt. Die Richtung des inducirten Stromes ist der Richtung des inducirenden entgegengesetzt; wenn z. B. der inducirende Strom von a durch die Windungen nach b geht, so lauft der inducirte von d nach c.

Dieser inducirte Strom ist jedoch ganz vorübergehend, er tritt nur in dem Moment auf, in welchem die Kette mit dem andern Drahte geschlossen wird; bleibt die Kette geschlossen, so ist nun im Nebendraht durchaus keine Stromwirkung mehr nachzuweisen; in dem Augenblicke aber, in welchem man die Kette wieder öffnet, wird auch der Nebendraht abermals von einem Strom durchlaufen, der nun mit dem im Hauptdraht verschwindenden Strome gleiche Richtung hat.

So oft man also mit den Enden des rothen (Haupt-) Drahts die Kette schließt oder öffnet, wird der grüne (Neben-) Draht von einem vorübergehenden Inductionsstrom durchlaufen.

Dieser Inductionsstrom ist im Stande, alle die Wirkungen hervorzubringen, welche überhaupt den elektrischen Strom charakterisiren; besonders kräftig sind aber die Wirkungen des Inductionsstroms auf die Nerven, wenn die Länge der Drahtwindungen einigermaßen bedeutend ist.

Um den Inductionsstrom durch den Körper gehen zu lassen, müssen die beiden Enden des Nebendrahtes mit metallenen Handgriffen versehen seyn; hat man diese in die etwas befeuchteten Hände genommen, so fühlt man einen Schlag, ähnlich dem Entladungsschlage einer Leidner Flasche in dem Moment, in welchem mit dem Ende des Hauptdrahtes eine galvanische Kette geschlossen wird; einen zweiten Schlag fühlt man beim Oeffnen der Kette.

Um eine bedeutende Wirkung auf die Nerven hervorzubringen, muß man nur die Schließungs- und Trennungsschläge in rascher Aufeinanderfolge durch den Körper gehen lassen; um dieß zu bewirken, hat man verschiedene, sehr sinnreiche Vorrichtungen erdacht, die Ihnen leicht verständlich seyn werden, wenn Sie Gelegenheit haben, solche Apparate zu sehen, welche jetzt zu medicinischen Zwecken angewandt werden und ziemlich verbreitet sind.

Mit solchen Apparaten erhält man die kräftigsten physiologischen Wirkungen, auch wenn die galvanische Kette, die man in Anwendung bringt, nur aus einem einzigen kleinen Elemente besteht.

Wenn man die Pole eines einfachen Elementes direct mit den etwas befeuchteten Händen schließt, so fühlt man auch nicht die allerleiseste Spur eines Schlages; um einen solchen hervorzubringen, ist schon eine größere Anzahl von Elementen oder Plattenpaaren nöthig, wie ich dieß schon früher angeführt habe. Es kommt also bei den physiologischen Wirkungen, welche die Säule direct hervorbringen kann, nicht sowohl auf die Menge der Elektricität an, welche der Apparat zu liefern im Stande ist, als vielmehr auf die Größe der Spannung an den Polen, welche bekanntlich mit der Zahl der Plattenpaare zunimmt; es liegt also die Frage nahe, wie es komme, daß man hier durch Vermittelung der Drahtwindungen einen kräftigen Schlag von einem einzigen Element erhält, einen Schlag, der um so stärker ist, je länger die aufgewundenen Drähte sind.

Ganz klar ist die Sache allerdings noch nicht, wohl aber läßt sich denken, wie das momentan in dem ganzen Schließungsdrahte gestörte elektrische Gleichgewicht eine stoßartige Wirkung hervorbringen muß, welche um so größer wird, je länger der Weg ist, auf dem das elektrische Fluidum in Bewegung zu setzen ist.

Diese Ansicht, daß man es hier mit einer stoßartigen Wirkung zu thun habe, wird auch dadurch unterstützt, daß man nicht einmal zwei parallel laufende Drahtwindungen nöthig hat, um mit einem Element starke physiologische Wirkungen hervorzubringen. Wenn man zur Schließung eines einzigen Plattenpaares einen sehr langen aufgewundenen Draht anwendet, so kann man beim Oeffnen sowohl wie beim Schließen der Kette starke Schläge erhalten.

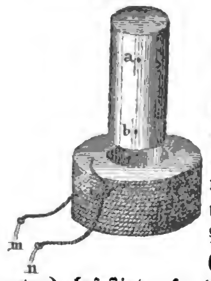
Bringt man an den Enden eines sehr langen aufgewundenen Drahtes metallische Handgriffe an, die man in die etwas befeuchteten Hände nimmt, so erhält man einen starken Schlag, wenn man mit den Drahtenden die Kette schließt; einen zweiten wenn man öffnet. Am einfachsten läßt sich dieß bewerkstelligen, wenn man die Poldrähte der Kette in zwei Quecksilbergefäße führt, und die beiden Enden der Drahtwindungen in diese Näpfchen eintaucht und wieder herauszieht.

Sehr bedeutend wird der Effect vermehrt, wenn sich innerhalb der Windungen ein Kern von weichem Eisen befindet.

Da auch hier die Wirkung auf die Nerven von einer mög-

lichst raschen Aufeinanderfolge der Schläge abhängt, so hat man auch bei solchen einfachen Drahtrollen solche Vorrichtungen angebracht, wie bei den Inductionsrollen, um durch sie möglichst rasche Aufeinanderfolge der Schließungen und Trennungen zu bewirken.

Fig. 71.



Sowie durch elektrische Ströme, so können auch durch Magnete elektrische Ströme inducirt werden. — Auf eine Hülse von Holz oder Messing sey ein recht langer (etwa ein mehrerer hundert Fuß langer) übersponnener Kupferdraht aufgewunden und die Enden m und n desselben, Fig. 71., an den Enden eines in vielfachen Windungen um eine empfindliche Magnetnadel herumgeleiteten Kupferdrahtes (eine solche Vorrichtung heißt der Multiplicator) befestigt, so daß der Multiplicatordraht eine metallische Verbindung zwischen den Drahtenden m und n bildet. Sobald man nun einen Magnetstab in die Hülse einschiebt, wie dieß in der Figur angedeutet ist, so werden in den Drahtwindungen, welche die Hülse umgeben, elektrische Ströme inducirt, die natürlicherweise auch die Windungen durchlaufen, welche die Magnetnadel umgeben, und eine Ablenkung derselben bewirken.

Diese Ablenkung der Magnetnadel ist nur eine momentane, sie geschieht, wenn der Magnetstab in die Hülse eingeschoben wird; bleibt aber der Magnet nun ruhig in der Hülse stecken, so kehrt die Nadel wieder in ihre Gleichgewichtslage zurück, in welcher sie auch nach einigen Oscillationen wieder zur Ruhe kommt.

Ist die Nadel, während der Magnetstab in der Hülse stecken bleibt, wieder in ihrer Gleichgewichtslage zur Ruhe gekommen, so erfolgt eine abermalige Ablenkung der Magnetnadel, entgegengesetzt der beim Einschieben beobachteten, wenn man den Magnetstab wieder aus der Hülse herauszieht.

In einer geschlossenen Drahtspirale werden also elektrische Ströme inducirt, wenn man ihr einen Magneten nähert, und wenn man denselben wieder entfernt.

Aus der Richtung, nach welcher hin die Nadel des Multiplicators abgelenkt wird, kann man auf die Richtung des inducirten Stromes schließen; es ergibt sich auf diese Weise, daß bei Annäherung des Magneten ein Strom inducirt wird, dessen Richtung den Strömen entgegengesetzt ist, welche nach der Ampere'schen

Theorie den Magneten umkreisen; beim Wegziehen des Magneten haben die inducirten Ströme dieselbe Richtung, wie die Ströme des Magneten selbst.

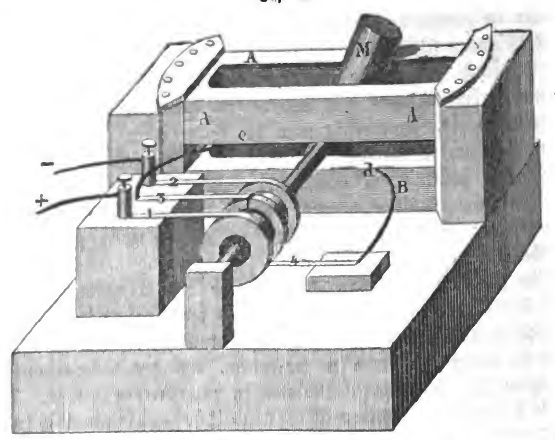
Die durch Annäherung und Entfernung eines Magneten inducirten Ströme bringen alle Wirkungen gewöhnlicher elektrischer Ströme hervor. Unterbricht man die Schließung der Spirale in dem Moment, in welchem eben ein Strom inducirt wird, so erscheint ein Funken; im menschlichen Körper bringen diese Inductionsströme Schläge hervor; durch Wasser geleitet, zersetzen sie dasselbe; durch dünne Drähte geleitet, machen sie dieselben glühend.

Um alle diese Wirkungen durch solche von Magneten inducirten Ströme hervorzubringen, bedarf es jedoch eigener Apparate, um die Inductionsspiralen rasch genug den Magnetpolen zu nähern und sie wieder von ihnen zu entfernen, um den Strom auf die geeignete Weise im richtigen Moment zu unterbrechen u. s. w. Dieß alles leisten die sogenannten Magnet-Elektrisirmaschinen.

Im Wesentlichen bestehen diese Maschinen aus einem festliegenden Hufeisenmagnet, an dessen Polen die um eine feste Axe drehbaren, mit Eisenkernen versehenen Inductionsrollen rasch vorüber rotiren. Die nähere Einrichtung dieser Magnetelektrisirmaschinen, welche ebenfalls bei Aerzten öfters angetroffen werden, lernen Sie am besten durch die Anschauung selbst kennen; Sie werden sich an solchen Apparaten immer leicht orientiren können, da Ihnen ja nun bekannt ist, auf welchen Grundsätzen ihre Wirkung beruht.

Die meisten Erscheinungen der durch Magnetismus inducirten Ströme lassen sich sehr schön an dem Apparat, Fig. 72. (S. 166), zeigen. Sie wissen, daß der Magnet rotirt, wenn man einen electrischen Strom durch die Windungen der Rahmen gehen läßt; ist dieß aber nicht der Fall, setzt man dagegen die Säulchen der Federn 1 und 2 in leitende Verbindung, so wird in den Rahmenwindungen ein Strom inducirt, wenn man den Magneten mittelst einer Kurbel umdreht. Leitet man diesen Strom durch einen dünnen Platindraht, so wird er glühend; schaltet man in den Verbindungsbogen zwischen den Säulchen 1 und 2 einen Wasserzersetzungsapparat ein, so tritt die Wasserzersetzung ein, sobald der Magnet rasch gedreht wird. Auch elektrische Schläge kann man mittelst dieses Apparates hervorbringen, doch ist er eigentlich nicht zu diesem Zweck construirt.


Fig. 72.



So oft also ein rotirender Magnet oder ein Elektromagnet sich einer geschlossenen Drahtwindung nähert, werden Ströme inducirt, die den seinigen entgegengesetzt sind, die ihn also abstoßen; diese inducirten Ströme sind demnach ein bedeutendes Hinderniß, welches die Rotationsbewegung der elektrischen Motoren überwinden muß, die Sie im vier- und fünfundvierzigsten Briefe kennen lernten. In diesen Inductionsströmen ist vorzugsweise der Grund zu suchen, warum die elektrischen Motoren die gehofften Effecte nicht gegeben haben.

Vierundfünfzigster Brief.

Thermo-Elektricität. Faraday's neue Entdeckung.

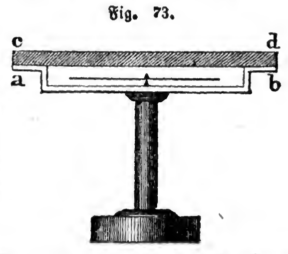
Ich habe schon davon gesprochen, wie alle Naturkräfte mit einander in Beziehung stehen, wie immer mehr Zusammenhang zwischen Anfangs ganz isolirt dastehenden Erscheinungsreihen aufgefunden wird, je mehr unsere Kenntnisse durch neue Erfahrungen bereichert werden. So sind Licht und Wärme vielfach verwandt; nähere Beziehungen zwischen ihnen kannte man aber nicht, bis Melloni die Gesetze der strahlenden Wärme näher untersuchte, und nachwies, daß die Gesetze der Fortpflanzung der strahlenden Wärme ganz dieselben sind wie die Gesetze der Fortpflan-

zung des Lichtes, so daß es jetzt in hohem Grade wahrscheinlich ist, daß die Erscheinungen der Wärme und des Lichtes sich noch auf ein und dasselbe Prinzip werden zurückführen lassen. Wir haben gesehen, welche Beziehungen zwischen Elektricität und Magnetismus, zwischen Elektricität und Chemismus stattfinden; betrachten wir nun auch noch das Wenige, was man bis jetzt von einem Zusammenhang zwischen Elektricität und Wärme, zwischen Elektricität und Licht weiß.

Durch den elektrischen Strom können Metalldrähte erwärmt, ja sogar glühend gemacht und geschmolzen werden, umgekehrt aber können auch durch Wärme elektrische Ströme erzeugt werden.

In Fig. 73. sey ab ein rechtwinkelig gebogener Kupferstreifen, auf dessen beiden Enden ein Wismuthstreifen cd aufgelöthet ist, so daß diese zusammen ein längliches Rechteck bilden, dessen untere Hälfte von Kupfer, dessen obere von Wismuth ist. In der Mitte des Kupferstreifens ist eine Spitze befestigt, auf welcher eine Magnetnadel spielt.

Fig. 73.



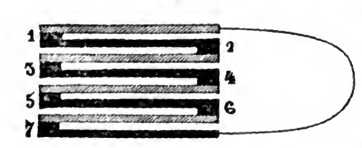
Dieser Apparat sey so aufgestellt, daß die Ebene des länglichen Vierecks in den magnetischen Meridian fällt, so wird die Magnetnadel gerade unter cd liegen; wird aber nun die eine Löthstelle, etwa die bei bd, durch eine kleine Weingeistflamme erwärmt, während die andere kalt bleibt, so entsteht ein elektrischer Strom, welcher das Rechteck umkreist, und dessen Existenz durch die Ablenkung der Magnetnadel aus ihrer bisherigen Gleichgewichtslage erkannt wird. Noch stärker sind die elektrischen Ströme, wenn man statt Wismuth und Kupfer Wismuth und Antimon combinirt. Auch die Combination anderer Metalle liefert solche Ströme, doch ungleich schwächer.

Wenn also Stäbe aus zwei verschiedenartigen Metallen eine in sich selbst zurücklaufende Figur bilden, also an zwei Stellen zusammengelöthet sind, so entsteht ein elektrischer Strom, wenn eine Löthstelle erwärmt wird, während die andere kalt bleibt. Solche durch ungleiche Erwärmung der Löthstellen erzeugte Ströme nennt man ihres Ursprungs wegen thermo-elektrische Ströme.

So wie man durch Combination mehrerer Plattenpaare zur voltaischen Säule stärkere Ströme erhält, so lassen sich auch

durch Combination mehrerer thermo-elektrischen Elemente verstärkte thermo-elektrische Ströme erhalten. Eine solche Combination wird gewöhnlich folgendermaßen hergerichtet: Eine Reihe von Wismuth und Antimonstäbchen sind so zusammengelöthet, daß die Löthstellen abwechselnd auf die eine und auf die andere Seite fallen, wie Sie dieß in Fig. 74. angedeutet finden. Auf diese Weise kann man ein ganzes Bündel thermo-elektrischer Elemente verbinden, und damit sie nicht so leicht zerbrechen, werden die Zwischenräume mit Gyps ausgegossen. Ein solcher Apparat heißt eine thermo-elektrische Säule.

Fig. 74.



Ist nun das erste und letzte Stäbchen der thermo-elektrischen Säule durch einen Metalldraht verbunden, so wird dieser von einem Strom durchlaufen, sobald die Löthstellen auf der einen Seite, also 1, 3, 5 u. s. w., erwärmt werden, während die auf der andern Seite kalt bleiben.

Wenn der Draht, welcher die beiden Pole der thermo-elektrischen Säule verbindet, einen Multiplicator bildet, so reicht schon eine sehr geringe Temperaturdifferenz der Löthstellen auf der einen und der andern Seite hin, um die Magnetnadel des Multiplicators abzulenken. Mit solchen thermo-elektrischen Säulen hat Melloni die wichtigsten Entdeckungen über strahlende Wärme gemacht.

Ohne die Gesetze der thermo-elektrischen Ströme näher zu betrachten, wollen wir uns nun zu den Beziehungen zwischen Licht, Magnetismus und Elektricität wenden.

Die elektrischen Lichterscheinungen sind bereits in früheren Briefen besprochen worden; bis jetzt geben sie noch nicht den mindesten Anhaltspunkt, um eine Ansicht über den innern Zusammenhang zwischen Licht und Elektricität bilden zu können.

Elektrische Wirkungen des Lichtes sind noch nicht bekannt; dagegen hat man gefunden, daß wenn man die eine Hälfte einer Stahlnadel einem starken blauen oder violetten Lichte aussetzt, wenn man etwa die eine Hälfte der Nadel in das blaue oder violette Licht des Spectrums hält, daß alsdann die Nadel magnetisch wird.

Eine höchst merkwürdige Einwirkung des elektrischen Stromes auf das polarisirte Licht hat Faraday, der die Wissenschaft schon mit so viel wichtigen Thatsachen bereichert hat, erst in der neuesten Zeit entdeckt. Mit Recht hat diese Entdeckung das größte

Aufsehen erregt, denn es läßt sich wohl erwarten, daß dieß neue Factum den Ausgangspunkt zu einer großen Menge wichtiger Entdeckungen bilden wird, wenn es auch bis jetzt noch völlig isolirt und durchaus unvermittelt dasteht.

Die Lehre vom polarisirten Licht habe ich in meinen Briefen an Sie nicht besprochen, weil diese schwierige Materie sich nicht wohl behandeln läßt, ohne in Details einzugehen, die sich nicht für briefliche Mittheilungen eignen; dessenungeachtet hoffe ich Ihnen klar machen zu können, in was eigentlich die neueste Entdeckung Faraday's besteht.

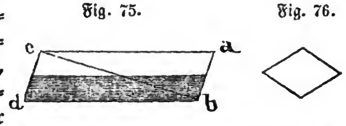


Fig. 75. Fig. 76.

Man kann aus durchsichtigem Kalkspath Prismen machen, die aus zwei Stücken, **abc** und **bcd**, zusammengesetzt, ungefähr das Ansehen der Fig. 75. haben. Der Querschnitt dieser Prismen hat die Gestalt einer Raute, Fig. 76. Hält man nun zwei solche Prismen so hinter einander, daß die große Diagonale des Querschnitts in beiden parallel ist, daß also für beide etwa die große Diagonale des Querschnitts horizontal liegt, so kann man durch beide durchsehen, d. h. das Licht, welches durch das erste Prisma hindurchgegangen ist, kann auch durch das zweite hindurchgehen; wenn aber die beiden Prismen gekreuzt sind, wenn also die große Diagonale des Querschnitts im einen horizontal, im andern vertikal ist, so wird das Licht, welches durch das erste gegangen ist, vom zweiten nicht mehr durchgelassen.

Ein solches Prisma sey nun an jedem Ende einer eisernen Röhre angebracht, die auf jeder Seite mit einer Glasplatte verschlossen und mit Wasser gefüllt ist. Sind die beiden Prismen parallel gestellt, so kann man durch sie und das Wasser der Röhre nach einer hinter den Apparat gestellten Lampenflamme sehen; dreht man aber nun das eine Prisma um seine Längenaxe um 90^0 um, so daß die entsprechenden Diagonalen der Querschnitte der Prismen einen recht Winkel mit einander machen, so kann man die Flamme nicht mehr sehen, das Gesichtsfeld erscheint dunkel.

Nun aber ist zur Anstellung des neuen Faraday'schen Versuchs das eiserne Rohr mit vielen Windungen übersponnenen Kupferdrahts umgeben. — Die Prismen seyen gekreuzt, also das Gesichtsfeld dunkel. — Läßt man nun einen elektrischen Strom durch die Drahtwindungen gehen, so wird die Lichtflamme wie-

der sichtbar; man muß das eine Prisma um einige Grade um seine Längenaxe und zwar nach derjenigen Richtung drehen, in welcher der positive Strom in den Windungen cirkulirt, damit die Lichtflamme wieder verschwindet.

Es ist nun die Frage: Ist diese Erscheinung eine Folge der Einwirkung des elektrischen Stromes auf den Lichtstrahl selbst, oder bringt der elektrische Strom in dem Wasser, welches er umkreist, eine solche Molecular-Veränderung hervor, daß dadurch der Lichtstrahl nun auch wieder durch das zweite Prisma gehen kann? Letzteres ist wahrscheinlich, denn es gibt mehrere Körper, welche die Eigenschaft haben, daß sie das Gesichtsfeld wieder hell machen, wenn sie zwischen zwei gekreuzte Kalkspath-Prismen gebracht werden; es ist nun wahrscheinlich, daß der Molecular-Zustand des Wassers durch den elektrischen Strom so geändert wird, daß es dieselbe Wirkung auf das polarisirte Licht ausübt, wie jene Körper. — Näher kann ich mich auf diesen interessanten Gegenstand nicht einlassen, ohne vorher vollständig die schwierige Lehre von der Polarisation des Lichtes zu entwickeln, was hier nicht wohl angeht. Sollten Sie später mehr Muße finden, diesen Gegenstand einem gründlicheren Studium zu unterwerfen, so rathe ich Ihnen, die Lehre von der Polarisation des Lichtes in einem guten Lehrbuch der Physik in der Weise durchzugehen, daß Sie stets die dort beschriebenen Versuche gleich anstellen, denn ohne unmittelbare Anschauung ist es rein unmöglich, hier zu klaren Vorstellungen zu kommen. — In Beziehung auf die Faraday'sche Erscheinung will ich nur noch bemerken, daß wir bis jetzt noch nicht die entfernteste Spur einer Erklärung derselben haben.

Die wichtigsten Lehren der neuern Physik habe ich nun in meinen brieflichen Mittheilungen an Sie besprochen. Es konnte dabei nur mein Zweck seyn, Ihnen die wichtigsten Thatsachen in großen Zügen vorzuführen, und Sie auf dem Felde der Physik in der Weise zu orientiren, daß Sie nun mit Erfolg die einzelnen Erscheinungsreihen näher studiren können, wozu es an trefflichen Lehrmitteln nicht fehlt. — Ich schließe mit dem Wunsche, daß es mir gelungen seyn möchte, Ihnen Lust zu einem tiefern Studium der Physik gemacht und Ihnen dasselbe durch diese Vorbereitung einigermaßen erleichtert zu haben.

